Vorschule der Pflanzenphysiologie

von

Dr. Ludw. Linsbauer und Dr. Karl Linsbauer

Zweite, umgearbeitete Auflage.

UNIVERSITY OF TORONTO LIBRARY

Vorschule der

Pflanzenphysiologie

LIBRARY

Eine experimentelle Einführung in das Leben der Pflanzen

Von

Dr. Ludw. Linsbauer und **Dr. Karl Linsbauer**

k. k. Prof. an der Höheren Lehranstalt für Wein- und Obstbau in Klosterneuburg.

o. ö. Prof. an der k. k. Universität in Czernowitz.

Zweite, umgearbeitete Auflage.

Mit 99 Abbildungen.

118151
13/9/11

WIEN 1911.

Verlagsbuchhandlung Carl Konegen (Ernst Stülpnagel).

Gesellschafts-Buchdruckerei Brüder Hollinek, Wien III.

Ihren Eltern zugeeignet

von den

Verfassern.

Vorwort.

„Die Naturwissenschaft ist so menschlich, so wahr, daß ich jedem Glück wünsche, der sich ihr auch nur etwas ergibt."

Karl August von Weimar
an Knebel.

Wir leben in einer Zeit des Aufblühens naturwissenschaftlicher Volksbildung. Schon allzulange hat das mächtige Überwiegen der literarisch-humanistischen Erziehung und Auffassung gedauert und eine Einseitigkeit in der Entwicklung des einzelnen wie der Gesellschaft zur Folge gehabt, welche den Menschen in einen oft schroffen Gegensatz zur Natur stellte, der gegenüber er sich als Fremdling, wenn nicht gar als Gegner, im besten Falle aber nur in der Rolle des ästhetisch Genießenden befand. Diese Einseitigkeit soll nun durch das Eindringen naturwissenschaftlicher Betrachtungsweise in die breiteren Schichten zunächst der Gebildeten ausgeglichen werden. Die Freude an dem Errungenen und an der Fülle des Gelernten bringt es mit sich, daß sich zuvörderst eine Literatur entwickelt, welche in mehr oder weniger gemeinverständlicher Form die sogenannten Ergebnisse der Naturwissenschaften — wir sprechen hier von den biologischen Disziplinen — dem Leser darbietet, und zwar in einer Form, welche den Laien oft zu verblüffen und so sein Interesse zu erregen geeignet ist. Um des gut gemeinten Zweckes willen sei ihr verziehen, wenn sie sich mitunter Übertreibungen zu Schulden kommen läßt und als sogenanntes gesichertes Ergebnis ausgibt, was doch nur eine vorübergehende Form unserer Erkenntnis bedeutet.

Den erzieherischen Wert solcher Schriften und Darstellungen möchten wir jedoch nicht überschätzt wissen. Besonders ist es eine Gefahr, auf die stets und nachdrücklichst hingewiesen werden muß, nämlich die Auffassung aller der angeführten „Ergebnisse“ als unumstößlicher Dogmen. Weil man vieles bereits erklären konnte, glaubte eine gewisse Richtung nicht nur der popularisierenden Darstellung alles erklären zu können. Wir wollen im Interesse der Leser solcher Schriften hoffen, daß mancher von ihnen bei dieser oder jener Behauptung ungläubig den Kopf geschüttelt und den Wunsch empfunden haben möge, sich selbst ein Urteil bilden oder wenigstens einen Einblick gewinnen zu können, wie man zu jenen Behauptungen kam. Denn die Natur lernt man nur durch persönliche Beschäftigung mit ihr kennen und lieben; sie aus Büchern studieren zu wollen, führt zu ebensolchem oberflächlichen, sich in Phrasen äußernden Wissen, wie es bei der ästhetisierenden Scheinbildung unserer Zeit so häufig zum Ausdrucke kommt.

Indem wir uns nüchtern, von gewissen unerläßlichen Bedingungen ausgehend, selbsttätig mit der Natur befassen, treffen wir auf Schritt und Tritt Probleme, Rätsel an allen Ecken und Enden an, welche eine Lösung fordern. Und wir erkennen, daß hinter dem eben gelüfteten Schleier eines Geheimnisses ein noch tieferes verborgen ist. Können wir es auch derzeit noch nicht enthüllen und muß unsere Hoffnung sich auf eine glücklichere Zukunft vertrösten, so mögen wir doch in der Gegenwart schon eine wichtige Erkenntnis daraus schöpfen: So einfach uns oft manche Lebensvorgänge zu sein scheinen, so ungeheuer kompliziert stellen sie sich bei näherem Zusehen dar. Die scheinbare Einheit und Einheitlichkeit des Organismus und seiner Lebensäußerungen löst sich in eine Vielheit von Einzelvorgängen auf, die sich gegenseitig regulieren und harmonisch zusammenwirken. Hätten wir aus unserer Beschäftigung mit dem Leben der Pflanze nicht mehr gelernt als dies, so wäre es schon ein ungeheurer Gewinn. Und das nüchterne Studium der Natur hat uns damit tiefere und weitere Ausblicke eröffnet, als sie der kurzsichtigen Phantasie des Uneingeweihten je zugänglich waren. Wir stehen gerade jetzt erst an der Schwelle einer Naturauffassung, welche durch das nüchterne exakte Studium der unsichtbaren Strahlungen eingeleitet, ungeahnte Perspektiven in die Welt des unendlich

Kleinen geschaffen hat und in weiterer Folge auch das Studium des Lebens noch tief beeinflussen muß und wird.

Ist auch die Beschäftigung mit der Natur zunächst nur auf das Materielle gerichtet und darum anscheinend nüchtern, so ernüchtert sie doch nicht: „Größer, erhabener und schöner als alle Dichtung ist die Wahrheit“ (E. Mach). Bescheiden erkennt der Mensch, daß nicht er im Mittelpunkt des Weltganzen steht, sondern daß er selbst nur eine unter den möglichen Erscheinungsformen des Lebens vorstellt. So beeinflußt die ernste Beschäftigung mit der Natur die gesamte Lebensauffassung und ist weit davon entfernt, zu seichtem Materialismus zu führen, vor dem nach unserer Überzeugung die Jugend nicht besser bewahrt werden kann, als indem sie angeleitet wird, selbsttätig Einblick in die Lebensvorgänge und ihre mannigfaltigen Anpassungen zu gewinnen.

Unser Büchlein setzt ernste Beschäftigung mit dem Gegenstande voraus; oberflächliche Lektüre läßt kein innigeres Verhältnis zur Natur aufkommen. Dabei wird es nun nicht ausbleiben, daß dieser oder jener Versuch nicht befriedigend ausfällt. Aber selbst detaillierteste „Rezepte“ können beim Experimentieren mit lebenden Wesen niemals die Exaktheit physikalischer Versuche herbeiführen. Wir haben darum vielfach bei der Anleitung zu den Versuchen von der Angabe minutiöser Einzelheiten abgesehen, die, ohne Gewähr für sicheren Ablauf des Experimentes zu bieten, noch den schwerwiegenden Nachteil im Gefolge haben, daß der Leser darüber nur zu leicht das Wesentliche der Versuchsanordnung aus dem Auge verliert. Probieren geht gerade hier über studieren, und wer einmal den Reiz empfunden hat, denkend, nicht bloß nachmachend, einen Versuch zu erproben, wird gerade dadurch gefesselt, daß er nicht sklavisch an Vorschriften gebunden, sondern selbsttätig sein kann. Wer nur einmal den Kernpunkt eines Versuches herausgefunden hat, der wird dann auch leicht imstande sein, das Experiment in lehrreicher Weise zu variieren. Und dem Geschicke des einzelnen bleibt es überlassen, unter Umständen auch mit einfacheren Mitteln, als wir angegeben haben, das gesteckte Ziel zu erreichen.

Auf eine bloß wissenschaftliche, rein systematische Anordnung des ungeheuren Stoffes haben wir bewußt verzichtet. Uns

galt es vor allem, die grundlegenden Versuche in den Vordergrund zu stellen, so verlockend es auch oft war, ein oder das andere Experiment noch anzuführen. Durch einen die Versuche verbindenden Text suchten wir den Zusammenhang zu wahren und durch zahlreiche Hinweise und Ausblicke dürfte wohl das Bewußtsein erweckt werden, wie weit gesteckt, aber auch wie fließend und erweiterungsfähig überall die Grenzen der biologischen Forschung sind.

Der Gang der Untersuchung geht vom anscheinend Einfachen aus; daran knüpft sich Frage an Frage in logischer Folge und das Problem kompliziert sich immer mehr. Die Darstellung folgt also im wesentlichen einem genetischen Prinzip, wobei durch kurze historische Bemerkungen auf das nur ganz langsame und allmähliche Fortschreiten unserer Erkenntnis des öfteren hingewiesen wird.

Bei den meisten der angeführten Versuche ist das rein Tatsächliche, also die qualitative Seite der Erscheinung hervorgehoben worden. Quantitative Untersuchungen sind nur hin und wieder eingeschaltet, um auch auf diese Seite der Untersuchungsmethoden aufmerksam zu machen. Ferner wurde von solchen Experimenten in der Regel Abstand genommen, zu deren Ausführung ein Mikroskop nötig wäre. Doch wurde stets an entsprechender Stelle Bezug auf den anatomischen Bau der Pflanze genommen, wobei wir allerdings uns nur auf das wichtigste beschränken mußten; wir konnten dies um so eher tun, als die hier in Betracht kommenden Verhältnisse leicht jedem Lehrbuch der Botanik für die Oberstufe der Mittelschulen entnommen werden können.

Der Fachmann wird nicht nur allbekannte Versuche finden, sondern auch das Bestreben der Verfasser wahrnehmen können, die Versuchsanstellung den Zwecken dieser Einführung anzupassen*). Von anderen herrührende Experimente wurden in der Mehrzahl der Fälle durch Beifügung des Namens der betreffenden Experimentatoren kenntlich gemacht. Daß in der Benützung der Literatur tunlichst auch die allerjüngste Zeit noch Berücksichtigung fand, wird der mit dem Gegenstande Vertraute an mancher

---

*) Wegen Beschaffung der von den Verf. konstruierten Apparate (Fig. 12, 17, 25, 41, 48, 49, 54, 65) siehe den Inseratenanhang.

Stelle bestätigt finden. Jedem Kapitel ist eine Reihe von „Aufgaben“ angehängt, deren Lösung demjenigen, der den vorhergehenden Abschnitt genau durchgenommen hat, keine besonderen Schwierigkeiten bieten dürfte, um so weniger, da durch Verweise diejenigen Stellen namhaft gemacht sind, welche auf die betreffende Aufgabe Bezug haben. Durch diese Aufgaben soll das Interesse auch über die Lektüre des Buches hinaus wachgehalten werden.

Mancherlei Winke und Angaben über Handgriffe und diverse oft genannte und benützte Gebrauchsgegenstände finden sich im Anhange, den wir vor Ausführung der Versuche durchzulesen raten. Auch ein angehängtes Verzeichnis der am wichtigtsen erscheinenden Utensilien und Chemikalien dürfte nicht unerwünscht sein. Ein Wort wäre noch über das am Schlusse befindliche Pflanzenverzeichnis zu sagen. Dieses verfolgt lediglich den Zweck, für die im Texte gebrauchten lateinischen Pflanzennamen deutsche zu setzen, soweit solche mit einiger Berechtigung gebraucht werden können. Unser Pflanzenverzeichnis möge als nicht mehr betrachtet werden, denn als erste Orientierung für denjenigen, dem nicht gleich eines der gebräuchlichsten Schulbücher zur Hand ist, in welchen ohnehin die Mehrzahl der von uns genannten Pflanzen enthalten ist. Es kam uns ganz und gar nicht darauf an, auf dieses Verzeichnis den Maßstab der dem systematischen Botaniker geläufigen Nomenklatur anzulegen, da es für den Physiologen, wenigstens für den Anfänger, meist wenig Wert hat, den Namen der zu seinen Versuchen benützten Pflanzenart wissenschaftlich genau zu fixieren.

Wir stellen uns vor, daß sich der Leserkreis unseres Büchleins zunächst aus gebildeten Laien zusammensetze, welchen das in unseren Mittelschullehrbüchern über Pflanzenphysiologie Mitgeteilte zu wenig sagt, denen aber das bekannte Praktikum Detmers zu viel bietet. Unsere Schrift will eine Vermittlerrolle zwischen beiden Kategorien von Büchern einnehmen. Wir glauben darum einerseits, daß es auch auf der Mittelstufe des Botanikunterrichtes, an Gymnasien, Realschulen und verwandten Schulgattungen mit Nutzen gebraucht werden kann, sei es, daß der Lehrer ein oder das andere Kapitel daraus zu eingehenderer Besprechung und Durchführung auswählt, sei es, daß er dasselbe mit strebsamen Schülern direkt praktisch durch-

arbeitet. Es wäre damit die Möglichkeit geboten, auch auf naturhistorischem Gebiete die Schüler zur Selbstbetätigung, ähnlich wie auf chemischem oder physikalischem Gebiete anzuleiten, wofür chemische oder physikalische Experimentierbücher bereits in Menge vorhanden sind.

Es kann in dieser populär-wissenschaftlichen Darstellung nicht unsere Aufgabe sein, näher auf die benützte Literatur einzugehen. Doch glauben wir dem Charakter unserer Schrift als einer „Einführung" zu entsprechen, wenn wir hier kurz auf einige Bücher hinweisen, welche zur Ergänzung und Vertiefung des behandelten Gegenstandes gebraucht werden können:

Esser, Das Pflanzenmaterial für den botanischen Unterricht. I. Teil: Anzucht, Vermehrung und Kultur der Pflanzen (Bachem, Köln 1903).

Knuth, Grundriß der Blütenbiologie (Lipsius und Tischer, Leipzig 1894).

Vierhapper, Der Bau der Pflanzen (in Vierhapper und K. Linsbauer, Bau und Leben der Pflanzen, Wien, Konegen 1909).

Osterhout, Experiments with plants (London, The Mac Millan's Company 1906).

Constantin, Les plantes et les milieux cosmiques (Paris, F. Alcan, 1898).

Als Einführung in die wissenschaftliche Pflanzenphysiologie kommen die bekannten Hochschullehrbücher von Wiesner, das „Bonner Lehrbuch" (von Strasburger etc.), Giesenhagen u. a. in Betracht, während als physiologische Praktika diejenigen von Fr. Darwin und Hamilton (Practical physiology of plants, Cambridge 1901) und Detmer (1905) zu nennen sind.

Noch erübrigt es, allen denen zu danken, welche uns bei Abfassung unserer Schrift durch Rat oder Tat unterstützt haben. Vor allem gebührt unser Dank Herrn Hofrat J. Wiesner, unserem hochverehrten gemeinsamen Lehrer, der nicht nur dem Fortschreiten unserer Arbeit mit teilnehmendem Interesse folgte, sondern auch gestattete, manches Experiment dem Versuchsprotokolle des von ihm geleiteten pflanzenphysiologischen Instituts der Wiener Universät zu entnehmen. Ebenso sind wir unseren geschätzten Kollegen, den Herren L. von Portheim und Dr. V. Grafe, für einzelne Abbildungen, beziehungsweise

Ratschläge zu Dank verpflichtet. Durch Überlassung von Klischees haben uns in zuvorkommender Weise die Firmen Allgemeine österr. Lehrmittelanstalt, Rohrbecks Nachfolger, Siebert sowie die Delegation der vereinigten Salpeterproduzenten, Berlin, unterstützt.

Die sorgfältige Ausführung der Zeichnungen für die Textabbildungen hat sich akad. Zeichner Herr Fleischmann angelegen sein lassen.

Zum Schlusse können wir nicht umhin, unserem Verleger Herrn Ernst Stülpnagel für sein in liberalster Weise bekundetes Entgegenkommen und für die Sorgfalt, die er der Ausstattung des Buches angedeihen ließ, auf das beste zu danken.

Vorrede zur II. Auflage.

Nach relativ kurzer Zeit ist eine Neuauflage unserer „Vorschule“ notwendig geworden. Die Anerkennung, welche dem Büchlein von seiten einer freundlichen Kritik zuteil wurde, erfüllt uns mit freudiger Genugtuung, um so mehr, als uns bekannt wurde, daß es nicht ohne Einfluß auf den botanischen Unterricht an unseren Mittelschulen geblieben ist. Immer mehr bricht sich die Erkenntnis Bahn, daß ein gedeihlicher biologischer Unterricht die Ergebnisse der experimentellen Physiologie zur Voraussetzung hat, soll er nicht in ein Spiel mit Gedanken, oft auch nur mit Worten ausarten. Wie wir aus Mittelschulkreisen erfahren, wurden auch mancherorts mit Erfolg eine größere Zahl physiologischer Experimente in den Unterricht aufgenommen und damit der Beweis erbracht, daß sich bei sorgfältiger Vorbereitung auch die hierfür nötige Zeit erübrigen läßt.

An der Gesamtdisposition, bei der didaktische über rein wissenschaftliche Überlegungen den Ausschlag gaben, glaubten wir nichts ändern zu sollen. Auch wurden die den Autorennamen beigefügten Jahreszahlen beibehalten; sie sollen, wie wir betonen möchten, nur gekürzte Zitate darstellen, keineswegs ein Bild des historischen Werdeganges unserer Disziplin bieten. Ebensowenig konnten wir uns entschließen, dem Rate unserer freundlichen Kritiker folgend, dem Büchlein einen Abriß der Anatomie vorauszuschicken; an vorzüglichen Einführungen in dieses Gebiet besteht wohl kein Mangel. An dem Plane der Vorschule festhaltend, dem Anfänger in erster Linie eine experimentelle Grundlage unserer Wissenschaft zu geben und ihn so in den Geist der Methode einzuführen, mußten wir uns nach wie vor in der Auswahl der Versuche die größte Beschränkung auferlegen. Unser Streben ging bei der Neuauflage in erster Linie dahin, einzelne Anleitungen und Figuren durch bessere zu ersetzen und, wo es

wünschenswert schien, die Klarheit des Ausdruckes zu steigern. So ließ es sich auch erreichen, daß trotz Umarbeitung einzelner Bogen und mancher Änderungen im Texte die Paginierung unverändert blieb, so daß die erste Auflage, soweit sie sich in der Hand des Schülers befindet, ihre Benützbarkeit beim Unterrichte nicht verloren hat.

Es sei bei dieser Gelegenheit gestattet, auf ein Buch hinzuweisen, das, für die Hand des Lehrers bestimmt, insbesondere auch die experimentelle Seite des Botanikunterrichtes berücksichtigt, nämlich Landsberg, Didaktik des botanischen Unterrichtes (Teubner, Leipzig 1911).

Hier sei auch auf die Provenienz einiger neuer Figuren aufmerksam gemacht. Es stammt Fig. 44 aus Bot. Zeitung, 1908, Verlag Felix, Leipzig; Fig. 48 aus Flora, Bd. 97, Verlag Fischer, Jena, ebenso Fig. 51a; Fig. 6a ist Original.

Zum Schlusse sprechen wir allen denjenigen, die uns durch berechtigte Kritik oder Ratschläge gefördert haben, speziell den Herren Priv.-Doz. Dr. V. Grafe, Dr. O. Richter und Leopold Ritter v. Portheim, unseren besten Dank aus.

Inhaltsübersicht.

Seite

Die chemischen Bestandteile des Pflanzenkörpers . . . . . 1—20
Unentbehrlichkeit des Wassers — Wassergehalt und Trockensubstanz — Kohlenstoffgehalt — Aschengehalt — Aschenanalyse — Wasserkultur — Wasseranalyse — Nährstofflösung — Mineralstoffe — Bodenanalyse — Luftanalyse — Die organischen Pflanzenstoffe — Die Elemente der organischen Verbindungen.

Die Nahrungsaufnahme durch die Wurzeln . . . . . 21—35
Die Zelle — Die Stoffaufnahme durch die Zelle: Imbibition und Quellung, Osmose — Turgor — Plasmolyse — Physikalische Eigenschaften des Bodens — Die Wurzel als nahrungaufnehmendes Organ — Die mechanischen Leistungen der Wurzel — Wurzelausscheidungen.

Transpiration und Leitung des Nährwassers . . . . . 36—66
Transpiration: Meßmethoden; Beeinflussung durch äußere Verhältnisse; ihr Zusammenhang mit dem anatomischen Bau der Organe; Welken; Transpirationsschutz — Wasseraufnahme — Das „Erfrieren" der Pflanze — Die Leitung des Wassers: Die Leitungsbahnen; die Ursachen der Wasserbewegung; Wurzeldruck; Guttation; Bedeutung der Transpiration; Richtung der Wasserbewegung.

Die Kohlenstoffernährung der Pflanze . . . . . 67—103
Die Kohlenstoffquelle — Die Assimilation des Kohlendioxyds — Sauerstoffausscheidung — Beeinflussung durch äußere Verhältnisse — Die Bedeutung des Chlorophylls — Blattbau und Gaswechsel — Die Produkte der Assimilation — Größe der Assimilation — Das Chlorophyll — Das Anthokyan — Parasitische und saprophytische Blütenpflanzen — Chlorophyllfreie Sporenpflanzen — Urzeugung — Sterilisieren — Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen — Reinkulturen.

Die Stickstoffernährung der Pflanze . . . . . 104—123
Der Boden als Stickstoffquelle der grünen Pflanze — Stoffverbrauch und Düngung — Das Verhalten der Leguminosen — Die Eiweißbildung — Die Bodenbakterien und der Kreislauf des Stickstoffes — Die Stickstoffernährung der nicht grünen Pflanzen — Die Insektivoren — Symbiose und Metabiose.

Wanderung und Wandlung der organischen Stoffe . . . . . 124—138
Das Auswandern der Reservestoffe — Keimung — Stoffumwandlungen und Enzymwirkung — Ableitung der Assimilate — Mechanik der Stoffwanderung — Die Wanderbahnen — Ziele und Ursachen der Stoffbewegung.

Seite

Atmung und Gärung . . . . . 139—160
Unentbehrlichkeit der Luft für die Keimung — Kohlendioxydausscheidung — Sauerstoffaufnahme — Atmung der Pflanzen und der Tiere — Wärmeerzeugung bei der Atmung — Die Temperatur des Pflanzenkörpers — Atmung und Assimilation — Unentbehrlichkeit des Sauerstoffes — Atmung ohne Sauerstoff — Wesen und Bedeutung der Atmung — Kreislauf des Kohlenstoffes — Gärung — Aërobe und anaërobe Pflanzen.

Wachstum und Formbildung . . . . . 161—185
Methoden der Wachstumsmessung — Längenwachstum des Stammes — Wachstum des Blattes — Interkalares Wachstum — Wachstum der Wurzel — Gewebespannung — Meristem und Dauerzellen — Das Dickenwachstum — Arbeitsleistung beim Dickenwachstum — Wundheilung — Korrelation — Ruheperiode — Bedingungen des Wachstums — Formveränderung durch Licht und Luftfeuchtigkeit.

Bewegungsvermögen und Reizbarkeit . . . . . 186—217
Geotropismus — Das Wesen der Reizvorgänge — Die geotropische Nachwirkung — Äthernarkose — Krümmungsmechanik — Heliotropismus — Die Glieder des Reizvorganges Epinastie — Das Nicken der Keimlinge — Sachssche Krümmung — Hydrotropismus — Chemotropismus — Darwinsche Wurzelkrümmung — Das Ranken — Haptotropismus — Stoßreizbarkeit — Gewöhnung an dauernden Reiz — Schlafbewegung — Periodische Bewegungen — Öffnen und Schließen der Blüten — Bewegungsformen niederer Organismen — Die Strömung des Protoplasmas.

Fortpflanzung und Vermehrung . . . . . 218—237
Lebensdauer — Latentes Leben — Befruchtung und Samenbildung — Bestäubung — Reizbare Blüten — Selbst- und Fremdbestäubung — Bedeutung der Wechselbefruchtung — Fruchtbildung ohne Bestäubung — Ungeschlechtliche Fortpflanzung — Vermehrung durch künstlichen Eingriff.

Anhang . . . . . 238—251
I. Die wichtigeren Geräte und Handgriffe . . . . . 238—249
II. Verzeichnis unbedingt notwendiger Geräte 249
III. Verzeichnis der angeführten Chemikalien . . . . . 249—250
IV. Verzeichnis der im Texte gebrauchten lateinischen Pflanzennamen . . . . . 250—251
Inhaltsverzeichnis . . . . . 253—255

Berichtigung.

Seite 19. Bei den Aufgaben 2, 5, 6 und 7 ist zu verweisen bezw. auf die Vers. 16, 19; 27, 33; 26; 25, 34.$_3$.
Seite 45, Zeile 16 von oben lies „Tausendstel“ statt „Zehntausendstel“.
„ 50, „ 17 „ oben füge ein nach „Stärkebildung“: S. 127.
„ 50, „ 7 „ unten lies ca. 155 *kg* statt 283 *kg*.
„ 123, „ 14 „ unten lies „Fig. 45“ statt „Fig. 44“.
„ 123, „ 20 „ unten lies „Fig. 47“ statt „Fig. 43“.

Die chemischen Bestandteile des Pflanzenkörpers.

Der Anblick der Pflanzenwelt, die mit ungezählten Heerscharen nahezu alle besiedlungsfähigen Stellen des festen Landes und nicht minder der Gewässer in Besitz genommen hat, ist uns von Kindheit auf so vertraut, daß — man darf ruhig behaupten — die größte Mehrzahl selbst der Gebildeten es nicht des Interesses wert hält, sich mit den Pflanzen näher zu befassen. Man freut sich wohl der Pracht ihrer Blüten, weiß allenfalls noch, daß die Insekten bei der Bestäubung der Blumen eine wichtige Rolle spielen und sonderbare Blüteneinrichtungen zur Anlockung derselben dienen; von dem „inneren Leben" der Gewächse jedoch haben wohl die wenigsten eine Ahnung, geschweige klare Vorstellungen. Und doch birgt sich unter der stummen Hülle des Pflanzenleibes, der jeder Empfindungsfähigkeit zu ermangeln scheint, ja anscheinend sogar jeder selbständigen Bewegungsfähigkeit bar ist, eine Fülle von komplizierten Lebensäußerungen, von Problemen und ungelösten Fragen, deren Studium denjenigen, der sich einmal mit ihnen befaßt hat, unwiderstehlich fesselt und gebannt hält. Soll es uns denn nicht locken, dem unscheinbaren Grashalme oder dem schweigsamen Baumriesen wenigstens einige seiner Lebensgeheimnisse abzulauschen und zu entlocken? Doch wie sollen wir dieses kühne und umfangreiche Problem, dessen Lösung manchem unmöglich dünkt, anfassen? Nun, wir wollen uns die Sache erleichtern. Was auf einmal nicht gelingt, trachten wir stückweise zu bewältigen, indem wir unsere zu allgemein gestellte Aufgabe in einfachere Fragen zerlegen.

Daß die Pflanze sich im Laufe ihres Lebens weiter entwickelt, wobei mit der Gestaltsänderung auch eine Zunahme an Masse verbunden ist, ist eine Beobachtungstatsache, die nicht nur bei der großartigen Entfaltung des Pflanzenlebens im Frühlinge in Erscheinung tritt, und die sich jedermann, zu allen Zeiten und an allen Orten geradezu aufdrängt; ihre regelmäßige Wiederkehr, ihr Auftreten an den verschiedensten Pflanzen hat

es mit sich gebracht, daß wir diese Erscheinung als so selbstverständlich betrachten, daß wir über sie nachzudenken ganz vergessen. Und doch ist es zum Beispiel naheliegend, nach dem Grunde des Größerwerdens zu fragen. Die Ähnlichkeit mit der Entwicklung, dem Wachstum von Mensch und Tier läßt allerdings die Vorstellung aufkommen, daß auch die Pflanzen zum Zwecke des Wachstums Nahrung zu sich nehmen müssen.

Sofort beginnt sich aber eine große Schwierigkeit einzustellen: Mit welchem Organe nimmt die Pflanze ihre Nahrung auf? Alles an den Pflanzen, alle ihre Körperteile sehen ganz rätselhaft anders gestaltet aus als bei Mensch und Tier. Würden wir mit derselben Frage an das Studium eines höheren Tieres, etwa eines Hundes herantreten, so fiele diese erste Schwierigkeit sofort weg: wir können ja sowohl das Organ der Nahrungsaufnahme als auch das Objekt derselben direkt beobachten, sehen. Anders bei den Gewächsen; hier läßt uns die direkte Beobachtung, welche unsere Sinne ermöglichen, im Stiche, die Beobachtung, welche die wahre Quelle und Grundlage unserer Naturerkenntnis bildet. Wir müssen auf Umwegen weiter zu kommen trachten.

Von einem Stoffe wissen wir, uralter Erfahrung zufolge, daß ihn die Pflanzen zum Gedeihen unbedingt nötig haben: das ist das Wasser. Von dieser Erfahrung wollen wir ausgehen, es aber nicht verschmähen, uns aus eigener Anschauung von der Notwendigkeit des Wassers für die Pflanze zu überzeugen.

Unentbehrlichkeit des Wassers.

1. Vers. Eine Topfpflanze von *Fuchsia*, *Aukuba* oder anderen Gewächsen wird einige Zeit nicht begossen. Mit dem Austrocknen des Bodens beginnen die Blätter herabzuhängen und vielleicht die Blattflächen zu schrumpfen oder sich zu rollen; die Stengelenden neigen sich über und fühlen sich wie die Blätter weich, schlaff an: die Pflanze welkt.

Begießt man rechtzeitig nur den Boden (nicht die Blätter) mit Wasser, so erholt sich die Pflanze und richtet sich straff auf.

Damit aus der Beobachtung, die wir in dem Versuche angestellt haben — und die man an zahlreichen anderen Gewächsen tausendfach wiederholt hat — auch ein Gewinn für unsere Erkenntnis entspringe, ziehen wir daraus folgende zwei höchst wichtige Schlüsse:

1. Jede Pflanze braucht zum Gedeihen Wasser.

2. Als Organe der Wasseraufnahme dienen die Bodenwurzeln (bei den Landpflanzen). (Vergl. Vers. 102.)

Hiermit war und ist auch heute noch für die meisten Menschen der Gegenstand erschöpft; die Pflanzen scheinen sich so vom „fruchtbaren“ Regen ernähren zu können, eine An-

schauung, welche seit den ältesten Zeiten in den religiösen Vorstellungen vieler Völker poetischen Ausdruck gefunden hat.

Mit Hilfe des Wassers erzeugt nun die Pflanze die tausendfach verschiedenen Stoffe, die wir aus ihr darstellen können und von welchen wir später ein paar der wichtigsten Gruppen etwas näher untersuchen wollen, nachdem wir uns im allgemeinen über die stoffliche Zusammensetzung der Pflanzen unterrichtet haben.

Wassergehalt und Trockensubstanz.

2. Vers. Wir erwärmen Holzstückchen oder Blätter, Blüten oder Früchte etc. in einem Proberöhrchen über einer Spiritusflamme.

Im oberen, kühleren Teil des Proberöhrchens bildet sich an den Wänden ein Beschlag von kleinen Tröpfchen, die sich als Wassertröpfchen zu erkennen geben. Wir können aus solchen Versuchen den Satz ableiten: Alle Pflanzen und Pflanzenteile enthalten Wasser (H_2O).

Ein annäherndes Maß des Wassergehaltes gewinnen wir, wenn wir das „Lufttrockengewicht“ ermitteln.

3. Vers. Wir lassen eine abgewogene Menge von zerkleinerten saftigen Früchten oder von Blättern an der Luft trocknen und ermitteln von Tag zu Tag den Gewichtsverlust bis zum völligen Vertrocknen der Masse.

Wenn wir alles Wasser austreiben wollen, dann müssen wir offenbar so lange forterhitzen, bis die Pflanzenmasse keinen Gewichtsverlust mehr erleidet.

4. Vers. Die zerkleinerten Pflanzenteile werden noch im frischen Zustand abgewogen und auf einer sogenannten „Uhrschale“ in einen doppelwandigen, hartgelöteten Blechkasten („Trockenschrank“) gebracht, in welchem sie andauernd auf 105—110° C erhitzt werden. Nach einigen Stunden wägt man sie wieder. Damit sie hierbei keine neue Feuchtigkeit aus der Luft aufnehmen, bedeckt man sie mit einer zweiten, umgekehrten, anpassend aufgeschliffenen Uhrschale und preßt beide mit einer federnden Metallspange aufeinander. Das Gewicht der Schalen und der Spange müssen bekannt sein. Vor dem Wägen, das sehr rasch vor sich gehen muß, läßt man das Ganze in einem „Exsikkator“, das heißt in einem gut verschließbaren Gefäß, in dem durch Schwefelsäure oder Chlorkalzium alle Feuchtigkeit aufgesaugt wird, auskühlen. Dann werden die Pflanzenteile weiter getrocknet, wieder gewogen u. s. f., bis keine Gewichtsabnahme mehr stattfindet.

Die so erhaltene rauschdürre und wasserfreie Masse heißt „Trockensubstanz“. Subtrahiert man vom Gewichte der frischen Pflanze, dem sogenannten „Lebendgewichte“, das eben bestimmte „Trockengewicht“, so erhält man den „Wassergehalt“ der Pflanze. Auf diese Weise fand man zum Beispiel den Wasser-

gehalt von Hölzern zu 30—70% des Lebendgewichtes, von Blättern zu etwa 70%; saftige Früchte und wachsende Pflanzenorgane können bis 90% Wasser enthalten, bei wasserbewohnenden Algen kommen sogar 98% Wasser und nur 2% Trockensubstanz vor. Aus solchen Zahlen läßt sich erkennen, daß dem Wasser im Leben der Pflanze, namentlich während der Entwicklung, eine bedeutende Rolle zukommen muß. Wir werden später Gelegenheit haben, eine oder die andere Leistung des Wassers näher kennen zu lernen.

Wir erwärmen jetzt weiter und stärker.

Kohlenstoffgehalt.

5. Vers. Wir bringen die getrockneten Pflanzenteile in ein Proberöhrchen (oder in einen Kolben) oder auf ein Blech, das durch eine untergesetzte Flamme allmählich stärker erhitzt wird.

Die Pflanzensubstanzen beginnen sich zu bräunen und werden endlich „kohlschwarz". Gebratene Äpfel, Kastanien, Kartoffel, Nüsse, Mehl, Holz und andere pflanzliche Objekte „brennen an", wenn sie zu stark erhitzt werden, das heißt sie „verkohlen" und liefern tatsächlich Kohle, richtiger Kohlenstoff (*C*). Derartige Kohlenstoff enthaltende Körper kennt man auch aus dem Tierreiche (Fleisch kann bekanntlich ebenfalls verkohlen); weil man sie früher nur in den pflanzlichen und in den tierischen Organen vorfand, nannte man sie „organische Substanzen". Alle Pflanzen führen also organische, das heißt kohlenstoffhaltige Substanzen.

Aschengehalt.

6. Vers. Wir erhitzen auf dem Bleche verschiedene getrocknete Pflanzenteile (am besten Blätter), bis sie, angezündet, verbrennen.

Es verbleibt ein Rückstand, welcher bei weiterem Erhitzen nur noch glüht, aber nicht mehr brennt: Asche. Alle Pflanzen enthalten somit in allen ihren Teilen Wasser, organische (= kohlenstoffhaltige) Substanz und unverbrennliche Mineralbestandteile (= Asche).

Wir wollen zunächst die häufigsten und wichtigsten Aschenbestandteile etwas näher prüfen. Da uns aber nur daran liegt, zu erkennen, daß in der Pflanzenasche verschiedene Mineralstoffe vorhanden sind, werden wir nicht an einer einzigen Pflanze alle darin vorkommenden Mineralstoffe aufsuchen, da dies zu schwierig wäre.

Aschenanalyse.

7. Vers. Wir schmelzen ein Stück Platindraht in ein Glasrohr (oder in einen Glasstab) ein, das wir als Handhabe benützen. Das freie Drahtende biegen wir zu einer kleinen ringförmigen Öse zusammen und entnehmen mit dieser (nachdem wir vorher den Draht ausgeglüht haben) eine kleine Probe der mit etwas Salzsäure angefeuchteten Asche (zum Beispiel von Spinat oder Baumwolle). Sodann halten wir die Drahtöse in die schwach leuchtende Flamme einer Spirituslampe oder eines

„Bunsenbrenners“: die Flamme leuchtet bei Gegenwart von Natriumverbindungen hellgelb auf. (Reaktion auf Natrium, *Na*.)

8. Vers. Die Asche einer Virginiazigarre wird mit Alkohol übergossen und angezündet. Die Flamme färbt sich karminrot. (Ist zu viel *Na* in der Asche, so scheint die Flamme nur gelb; blickt man aber durch ein dickes, blaues Kobaltglas hindurch, so erkennt man die rote Flammenfärbung des in der Asche enthaltenen Lithiums (Reaktion auf Lithium, *Li*.)

9. Vers. Etwas Lärchenholzasche wird in wenig Wasser aufgerührt, filtriert und zum Filtrat eine Messerspitze Bleiperoxyd und etwas konzentrierte Salpetersäure zugesetzt, das Ganze in einem mit Watte verschlossenen Kölbchen gekocht, mit Wasser verdünnt und filtriert: Die Lösung zeigt eine violette Farbe bei Gegenwart von Mangan (*Mn*).

10. Vers. 1—2 Handvoll zerkleinerter Schachtelhalm (Zinnkraut) wird in einem geräumigen Topfe mit konzentrierter Sodalösung (ätzt die Haut!) 1—2 Stunden gekocht, filtriert und zum Filtrate Salzsäure langsam (schäumt sehr stark!) unter Umrühren zugesetzt: es scheidet sich eine Silizium verbindung (*Si*), gallertige Kieselsäure, ab.

11. Vers. 1. Etwas Holzasche wird mit Wasser übergossen, so lange Salzsäure zugetröpfelt, bis kein Aufbrausen mehr stattfindet, und dann filtriert. Zum Filtrat fügt man eine wässerige Lösung von gelbem Blutlaugensalz (Ferrozyankalium); entsteht (sofort oder nach Zusatz von Salpetersäure) Blaufärbung, so war ein Eisensalz in der Asche vorhanden. (Eisen, *Fe*).

2. Erzeugt Zusatz einer wässerigen Rhodankaliumlösung im Filtrate purpurroten Farbenton oder Niederschlag, so liegt speziell ein Ferri-Salz vor.

Für die folgenden Versuche übergießt man eine Messerspitze Asche der anzugebenden Pflanzenteile in einem Proberöhrchen mit einigen Kubikzentimetern Wasser, schüttelt durch, filtriert und setzt zum Filtrat die entsprechenden Reagenzien zu.

12. Vers. Zum Filtrat von Holzasche (oder veraschten Tabakblättern, Eichenrinde) werden einige Tropfen einer wässerigen Lösung von oxalsaurem Ammon zugefügt; ein eventueller Niederschlag zeigt das Vorhandensein von Kalzium (*Ca*) an.

13. Vers. Das Filtrat von veraschtem Wermutkraut oder Kartoffelknollen wird mit einer wässerigen Lösung von Natriumbitartrat im Überschusse versetzt und durchgeschüttelt. Nach einigem Stehen bildet sich ein weißer Niederschlag. (Nachweis von Kalium, *K*.)

14. Vers. Füge zum Filtrat aus veraschten Mandeln, Roggenkörnern oder Fichtenholz etwas wässerige Lösung von Ammonium-

chlorid, ferner Ammoniak und eine wässerige Natriumphosphatlösung. Durch Reiben eines Glasstabes an der Gefäßwand wird, bei Gegenwart von Magnesium (*Mg*), die Bildung eines weißen Niederschlages beschleunigt.

15. Vers. Zerkleinerte *Ricinus*- oder Erbsensamen werden in einem Porzellantiegel verascht, zur filtrierten Lösung etwa gleichviel Ammoniumnitratlösung und Salpetersäure hinzugefügt, erwärmt und eine erwärmte Lösung von molybdänsaurem Ammon im Überschusse zugesetzt. Ein gelber Niederschlag zeigt Phosphorverbindungen an (*P*).

Woher stammen nun diese Stoffe alle? Es muß doch höchst merkwürdig erscheinen, daß wir außer Wasser noch Mineralsubstanzen und das Heer der organischen Stoffe wie Eiweiß, Fett, Zucker, Kork, Holzsubstanz, Farb- und Riechstoffe in den Pflanzen antreffen. Wir haben zwar das Wasser als unbedingt nötig zur Entwicklung der Gewächse erkannt, aber unbegreiflich scheint es, wie daraus alle anderen, namentlich festen Pflanzenstoffe entstehen sollen. Der griechische Vielwisser Aristoteles (4. Jahrh. v. Chr. G.) hatte diese schwierige Frage mit der einfachen Behauptung beantwortet, die Pflanze nehme die in ihr vorhandenen Stoffe bereits fertig gebildet aus der Erde auf.

Für uns Moderne, denen die chemische Zusammensetzung des Bodens genau bekannt ist, hat Aristoteles' Behauptung gar keine Bedeutung mehr. Aber der blinde Glaube, den man durch das ganze Mittelalter hindurch dem griechischen Gelehrten entgegenbrachte, bewirkte in früheren Zeiten, daß man seinen Ausspruch einfach als unerschütterliches Dogma widerspruchslos hinnahm. So hinderte der Autoritätsglaube durch Jahrhunderte den Fortschritt in der Erkenntnis, bis im 16. und 17. Jahrhundert allmählich durch Versuche die Grundlosigkeit der aristotelischen Lehre erkannt wurde.

Man mußte sich daher zu einer anderen Anschauung bequemen und nahm an, daß die Pflanze aus sich heraus durch ihre „Lebenskraft" das Wasser in andere Stoffe umwandeln könne, eine Anschauung, welche noch in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts ihre Vertreter fand und auf alchymistische Vorstellungen zurückging.

Solche Umwandlungen kennt die neuere Chemie nicht. Es war der Franzose Lavoisier, der im Jahre 1782 den als das sogenannte „Gesetz von der Erhaltung der Masse" bekannten Satz aussprach: Bei den chemischen Veränderungen der Stoffe ist das Gesamtgewicht aller Endprodukte stets gleich der Summe der Gewichte derjenigen Stoffe, welche sich an dem betreffenden chemischen Vorgange beteiligt haben. Mit anderen Worten: Da jedem Stoffe sein ihm eigenes, unveränderliches Gewicht zukommt, können anscheinende Verwandlungen nur durch Hinzu-

treten eines neuen Stoffes oder durch Abspalten eines Bestandteiles entstehen, das heißt, Stoffveränderungen beruhen nur auf abgeänderten Kombinationen der sogenannten Grundstoffe oder Elemente.

Wenn sonach eine Pflanze bei ihrer Entwicklung eine Gewichtszunahme aufweist, so muß sie von außen Stoffe aufgenommen haben. Könnte man eine Pflanze in einem hermetisch abgeschlossenen Raume, der alles zu ihrem Gedeihen Nötige enthielte, kultivieren, so würde das Gesamtgewicht, trotzdem sie neue Blätter, Blüten und Früchte bekommt, unveränderlich gleichbleiben; die Pflanze selbst wäre um so viel schwerer geworden, als sie ihrer Umgebung Stoffe entzogen hat.

Während wir also einerseits das Wasser als unumgänglich erforderlich für das Gedeihen der Pflanzen erkannt haben, müssen wir uns nun anderseits die Frage stellen, ob reines (= destilliertes) Wasser zur Ernährung für sich allein ausreiche, um so mehr, als wir heutzutage wissen, daß im gewöhnlichen Wasser stets verschiedene Stoffe aufgelöst sind.

Wasserkultur.

16. Vers. (Fig. 1.) Wir überspannen ein weithalsiges Glas (sogenanntes Einsiedeglas) mit weitmaschigem Tüll, den wir so wie das Gefäß selbst vorher mit verdünnter Salzsäure (10 Tropfen Salzsäure in einem Liter destillierten Wassers) ausgekocht, beziehungsweise ausgewaschen und mit destilliertem Wasser zur Entfernung der Säure wiederholt ausgespült haben, bis blaues Lackmuspapier vom Waschwasser nicht mehr gerötet wird, noch besser, bis Zusatz einer wässerigen Lösung von Silbernitrat keinen Niederschlag mehr gibt. Auf das Netz bringen wir jetzt Bohnensamen (*Phaseolus vulgaris*),

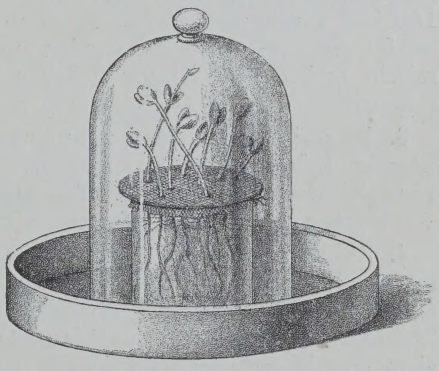


Fig. 1.

welche bereits einige Zentimeter lange Würzelchen ausgetrieben haben (nach v. Portheim). Die Wurzeln müssen in das destillierte Wasser des Gefäßes eintauchen. Wir stellen das Kulturgefäß auf eine Tasse, decken es mit einem Sturze zu, um eine feuchte Atmosphäre herzustellen, und bringen das Ganze in einen dunklen, warmen Raum, da so rascher ein Erfolg zu sehen ist.

Die Pflanzen entwickeln sich anfangs (da in den Samen selbst ein gewisser Vorrat an Stoffen vorhanden ist, der eine Zeitlang zur Ernährung ausreicht; die Versuche müssen darum

eine bis mehrere Wochen fortgesetzt werden). Nach längerer Zeit aber gehen sie zugrunde. Reines Wasser reicht eben zur Ernährung der Pflanzen nicht hin (Fig. 2). Um nun zu erfahren, was den Pflanzen abgeht, müssen wir die im Wasser vorhandenen Stoffe näher untersuchen.

Wasseranalyse.

17. Vers. Wir verdampfen Wasser (Brunnen- oder Bachwasser) in einer flachen Schale. Es bleibt ein geringer Rückstand von festen Körpern: die natürlichen Wässer stellen also verdünnte Salzlösungen vor. Unsere nächste Aufgabe muß es sein, durch die chemische Untersuchung („Analyse") des Wassers diese Stoffe (Salze) im Einzelnen nachzuweisen. Ist das zu untersuchende Wasser salzarm, so dampft man eine größere Menge auf ein kleineres Volumen ein, um eine höhere Konzentration zu erhalten.

18. Vers. 1. Man löst in einer Eprouvette so viel Eisenvitriol in konzentrierter Schwefelsäure, als sich löst. Läßt man nun an der Glaswand langsam Wasser zufließen, welches salpetersaure Salze (= Nitrate) enthält, so entsteht an der Berührungsfläche eine purpurrote Färbung.

2. *a*) Löse 0·5 *g* Sulfanilsäure in 150 cm^3 verdünnter Essigsäure. *b*) Koche 0·2 *g* festes α-Naphtylamin in 20 cm^3 Wasser, gieße die farblose Lösung vom Rückstande ab, setzte zu dieser 150 cm^3 verdünnte Essigsäure zu und gieße *a*) und *b*) zusammen. — 50 cm^3 des Wassers werden mit 2 cm^3 dieses Reagens gemischt und 5—10 Minuten stehen gelassen: Rotfärbung zeigt salpetrigsaure Salze (= Nitrite) an.

3. 10 cm^3 Wasser werden in einem Proberöhrchen mit einigen Tropfen Salzsäure (*HCl*) angesäuert und eine wässerige Lösung von Chlorbaryum zugesetzt. Ein auftretender Niederschlag zeigt die Gegenwart von schwefelsauren Salzen (= Sulfaten) an.

4. Kohlensaure Salze (= Karbonate) — es kommt meist nur kohlensaurer Kalk in Betracht — geben sich dadurch zu erkennen, daß sich die erwärmte Flüssigkeit zunächst oberflächlich mit einem Niederschlagshäutchen bedeckt. Dampft man etwa $^1/_4$ *l* Wasser auf die Hälfte ein und filtriert den Niederschlag ab, so braust der Rückstand auf dem Filter auf, wenn man *HCl* hinzugibt.

5. Das zu untersuchende Wasser wird möglichst eingedampft und wie im Vers. 15 auf phosphorsaure Salze (= Phosphate) geprüft.

6. Wenn etwa 20 cm^3 Wasser mit 1—2 Tropfen reiner Salpetersäure (HNO_3) angesäuert und mit einer wässerigen, im Dunkeln aufzubewahrenden Lösung von salpetersaurem Silber versetzt werden, so tritt bei Vorhandensein von Chlorverbindungen (= Chloriden) ein weißer Niederschlag auf.

Im übrigen versuche man auf die in den Vers. 7—14 angegebene Weise die dort genannten Elemente nachzuweisen.

Nährstofflösung.

Durch zahlreiche mühsame Untersuchungen ist es gelungen, eine „künstliche“ Nährstofflösung von ähnlicher Zusammensetzung wie die natürlichen Wässer herzustellen, in welcher die meisten Pflanzen gedeihen. Die dabei gebräuchliche Art der „Wasserkultur“ haben wir schon kennen gelernt (Vers. 16).

19. Vers. 1. Man löst in 1 *l* destilliertem Wasser: 1 *g* salpetersauren Kalk [$Ca(NO_3)_2$], 0·5 *g* Chlorkali (KCl), 0·5 *g* schwefelsaure Magnesia ($MgSO_4$), 0·5 *g* feinpulverisierten phosphorsauren Kalk [$Ca_3(PO_4)_2$]*) und fügt einige Tropfen verdünnter wässeriger Lösung von Eisenchlorid ($FeCl_3$) hinzu, bis die Lösung opalartig schimmert.

Diese Nährstofflösung wird in ein vorher wohlgereinigtes Gefäß eingefüllt. (Vgl. Vers. 16.)

Die Versuchspflanzen werden meist aus Samen gezogen (zum Beispiel *Phaseolus vulgaris*, *Vicia Faba;* vgl. Aufg. 4), welche zwischen feuchtem Fließpapier angekeimt haben. Die Befestigung der Keimlinge erfolgt entweder wie im Vers. 16 oder — wenn man eine einzelne Pflanze länger kultivieren will — in einem Korke, der wie in den Nebenfiguren zu Vers. 68 gespalten ist (für weitere Gläser kann man ähnlich vorgerichtete Brettchen benutzen, welche durch drei unterseits eingeschlagene Nägel am Herunterfallen gehindert werden); der Zwischenraum wird mit Watte verstopft. Nur die Wurzeln der Samen dürfen in die Nährlösung eintauchen. Diese muß stets schwach sauer reagieren (oder blaues Lackmuspapier schwach röten); färbt sie rotes Lackmuspapier blau, so gibt man einige Tropfen verdünnter Salpetersäure hinzu (durch Mischen von 1 cm^3 Salpetersäure mit 50 cm^3 destilliertem Wasser hergestellt). Die Lösung soll öfters aufgerührt werden.

Man füllt das Gefäß ganz mit der Nährstofflösung voll und ersetzt die während des Versuches verdunstende Menge derselben stets wieder durch destilliertes Wasser. Bei Anwendung eines 3—4 *l* fassenden Kulturgefäßes (das meist Zylinderform hat) muß man, wenn die Kultur lange Zeit, etwa bis zur Blütenbildung, fortgesetzt werden soll, zirka zweimal die Nährlösung durch eine frische ersetzen; in der Zwischenzeit setzt man die Wurzeln in destilliertes Wasser.

Um Algenbildung und schädliche Erwärmung der Nährstofflösung zu verhindern, umgibt man das Glasgefäß mit Pappendeckel oder mehreren Flanellagen.

Die Versuche sind am besten im Sommer an einem hellen Orte auszuführen.

---

*) Dieses schwerlösliche Salz bildet einen Bodensatz.

Anfangs werden die Pflanzen mit einem Sturze bedeckt, der täglich gelüftet werden muß. Nach einigen Wochen hebt man den Sturz, so daß Luft durchstreichen kann, und entfernt ihn schließlich ganz.

2. Als Nährstofflösung wird auch als sehr günstig empfohlen (nach v. Crone): 1—2 *l* destilliertes Wasser, 1 *g* Kaliumnitrat, 0·5 *g* Kalziumsulfat, 0·5 *g* Magnesiumsulfat, 0·25 *g* tertiäres Kalziumphosphat, 0·25 *g* Ferrophosphat.

Wenn die Wurzeln eine gewisse Länge erreicht haben, sind die noch ungelösten Salze aufzurühren.

Mineralstoffe.

Wir kennen jetzt wohl die in den Pflanzen vorkommenden Mineralsubstanzen. Doch ist mit dieser Kenntnis noch nicht die weitere Frage beantwortet, ob alle diese Stoffe auch notwendig sind; es wäre denkbar, daß einer oder der andere nur nebenbei mitaufgenommen wird. Da Pflanzen in der früher angegebenen Nährstofflösung (Vers. 19) gedeihen, so folgt daraus schon die Entbehrlichkeit der Elemente *Na*, *Li*, *Mn*, *Si*. Es soll damit aber nicht gesagt sein, daß alle diese Stoffe deshalb gänzlich überflüssig für die Pflanze sind. So ist zum Beispiel bei Darbietung von *Si* (außer den übrigen Salzen) die Festigkeit der Organe viel größer als bei Abwesenheit dieses Stoffes. Wir werden die Unentbehrlichkeit eines bestimmten Mineralstoffes daran erkennen, daß eine Nährstofflösung, welche nur diesen einzelnen Stoff nicht enthält, die Weiterentwicklung der Versuchspflanze hemmt.

Wir stellen uns zum Beispiel eine kalifreie und eine kalkfreie Nährstofflösung her:

20. Vers. In der Lösung des Vers. 19 wird das *K Cl* durch 0·5 *g* Chlornatrium (*Na Cl*) ersetzt.

21. Vers. 1 *l* Wasser, 1 *g* Kaliumnitrat (KNO_3), 0·5 *g* *Na Cl*, 0·5 *g* $MgSO_4$, 0·5 *g* KH_2PO_4. In beiden Vers. setzt man etwas $FeCl_3$ zu.

Zur Kontrolle kultivieren wir gleichzeitig mit diesen Versuchen dieselben Pflanzen in einer vollständigen Nährstofflösung (z. B. der des Vers. 19).

Die Pflanzen gedeihen in den kali- und kalkfreien Lösungen nur bis zu einem bestimmten Grade (vgl. Fig. 2), gehen jedoch später zugrunde. [Über *N*-freie Lösungen siehe Vers. 144.]

Aus derartigen Kulturversuchen geht die Tatsache hervor, daß die Pflanzen — in deren Asche man fast alle Grundstoffe hat nachweisen können — mit einer sehr beschränkten Zahl von Elementen auskommen, diese aber auch unbedingt brauchen. Man kann als Regel aussprechen, daß die grünen Pflanzen vollständig ihr Auslangen finden, wenn ihren Wurzeln *K*, *Ca*, *Mg*, *Fe*, *S*, *P* und *N* in verdünnten Lösungen geboten wird, daß demnach diese Elemente die unentbehrlichen un-

organischen Nährstoffe der grünen Pflanze sind, außer denen sie noch andere aufnehmen können, ohne direkt auf sie angewiesen zu sein.

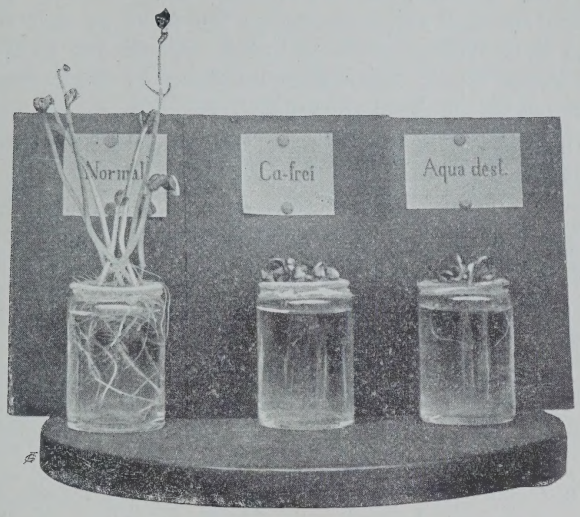


Fig. 2.

Bodenanalyse.

Die in den natürlichen Wässern vorhandenen Salze entstammen alle dem Erdboden, wie die Bodenanalyse zeigt.

22. Vers. 1. Man kocht etwa 1 *dkg* zerriebener „Feinerde“ (welche man durch Auslesen der Steinchen und gröberen Stücke mittels eines Siebes erhält) in 100 cm^3 Wasser und läßt etwa die Hälfte des Wassers wieder verdampfen, um eine konzentriertere Lösung zu erhalten, an welcher man die früher besprochenen Reaktionen (Vers. 7—15) auf die Mineralbestandteile ausführen kann.

Es ist nun ohne Schwierigkeit zu erkennen, daß die in der Pflanze nachgewiesenen Mineralstoffe (wie Eisen, Kalzium, Kalium, Magnesium, ferner Schwefel und Phosphor) nur aus dem Boden aufgenommen worden sein können, wo sie ebenso wie in der Pflanze nicht in Form der Elemente *Fe*, *Ca*, *K*, *Mg* usw. (wie wir der Kürze halber geschrieben haben), sondern als Verbindungen vorkommen. In welchen chemischen Verbindungen diese Grundstoffe in der Pflanze existieren, ist zum großen Teil unbekannt; es ist denkbar und meist auch nachgewiesen, daß sie im Erdboden in anderen Bindungen als im Pflanzenkörper vorhanden sind.

Daß das die Pflanze durchtränkende Wasser dem Erdreiche entstammt, ist (nach Vers. 1) klar. Und es bleibt uns somit nur noch übrig, die Herkunft der organischen (kohlenstoffhaltigen) Stoffe des Pflanzenleibes zu untersuchen.

23. Vers. 1. Setzt man zu Wasser eine Lösung von übermangansaurem Kali tropfenweise zu, so färbt es sich rotviolett; fügt man dem Wasser einen löslichen organischen Stoff zu, zum Beispiel etwas Zucker oder Zitronensäure, so wird das Kaliumpermanganat durch diese Substanzen entfärbt.

2. Man kocht Erde mit Wasser aus, filtriert und tropft übermangansaures Kali zu: die Lösung wird entfärbt.

Der Erdboden enthält somit außer den Mineralsalzen auch noch organische Stoffe, welche aus zersetzten Pflanzenteilen herstammen („Humus"). Wie die Wasserkultur in Nährstofflösung ergeben hat, sind diese organischen Stoffe aber zum Gedeihen unserer Pflanzen nicht nötig; außerdem haben sie eine ganz andere Zusammensetzung als die organischen Verbindungen der Pflanze. Als Bezugsquelle für letztere Substanzen kommt das Wasser also ebensowenig in Betracht als der Erdboden. Auch in der atmosphärischen Luft können sie nicht gesucht werden, wie ein Blick auf die Bestandteile derselben ergibt.

Luftanalyse.

Die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft geht aus folgenden Angaben hervor: 100 *l* Luft enthalten 79 *l* Stickstoff (Nitrogen, *N*) und 21 *l* Sauerstoff (Oxygen, *O*), ferner konstant die geringe Menge von 0·03 *l* Kohlendioxyd (CO_2) im Durchschnitte. Außerdem sind in der Luft wechselnde Mengen von Wasserdampf (H_2O) enthalten.

24. Vers. 1. Wir stellen ein Schälchen mit trockenem Chlorkalzium auf. — Wir hängen ferner einen Streifen von unmittelbar vorher über einer Flamme scharf getrocknetem Kobaltpapier auf. (Dieses erhält man, wenn man Streifen von weißem Filterpapier mit einer 5%igen Lösung von Kobaltchlorür tränkt und dann lufttrocken werden läßt.) Das Papier ist rosenrot. Hierauf zieht man dasselbe über einer Flamme mehrmals hin und her oder legt es auf den warmen Ofen: es wird dabei ganz trocken und schön blau, da es nur durch Aufnahme von Wasserdampf rote Färbung annimmt. Um die Streifen wasserfrei zu erhalten, bringt man sie in einen Exsikkator, wo sie bis zum Gebrauche aufbewahrt werden. Unmittelbar vor dem Versuche kann man sie schnell über einer Streichholzflamme nochmals trocknen.

Das Chlorkalzium zerfließt nach einiger Zeit, das Kobaltpapier wird rosenrot, da beide H_2O-Dampf aufgenommen haben.

2. In einem flachen Schälchen befindet sich klares Kalkwasser. (Wir stellen es dar durch Übergießen von gebranntem Kalk mit destilliertem Wasser, das man aufschüttelt und hierauf in wohl-

verschlossener Flasche sich absetzen läßt bis zum Klarwerden. Einen Teil dieser klaren Lösung gießt man zum Versuche ab.)

Man löst etwas „Nilblausulfat“ in Alkohol und fügt so lange unter Umschütteln Kalkwasser zu, bis die in einer gut verschließbaren Flasche befindliche Flüssigkeit rot geworden ist und auch bleibt. Man gießt etwas von dieser roten Nilblaubase in ein offenes Gefäß oder auf Filterpapier. (Haidenheim.)

Nach einiger Zeit erfolgt Trübung im ersten Schälchen, indem sich durch Aufnahme von CO_2 aus der Luft ein Niederschlag von kohlensaurem Kalke ($CaCO_3$) gebildet hat. — Aus demselben Grunde ist die rote Flüssigkeit im zweiten Gefäße, eben durch die Aufnahme von CO_2, wieder blau geworden.

3. Man löst Indigokarmin in Wasser, so daß die Lösung in einer etwa 10 *cm* Durchmesser haltenden Flasche beim Durchschauen tief himmelblau erscheint. Man bereitet ferner eine konzentrierte wässerige Lösung von saurem schwefligsauren Natron, fügt auf je 30 cm^3 derselben eine Messerspitze Zinkstaub hinzu, schüttelt kräftig durch mehrere Minuten und läßt die graue Flüssigkeit absetzen. Gibt man einige Tropfen der geklärten Flüssigkeit in die Indigokarminlösung, so wird diese infolge Reduktion gelblich entfärbt und kann so in einer damit vollgefüllten, enghalsigen und gutverkorkten Flasche aufbewahrt werden. Öffnet man den Kork, so wird der obere Teil der Flüssigkeit infolge Sauerstoffzutrittes sofort wieder blau. (Neuerlicher Zusatz der Natronlösung entfärbt die Flüssigkeit wiederum.)

Die organischen Pflanzenstoffe.

Wir haben früher die organischen Stoffe durch ihren Gehalt an *C* charakterisiert und müssen uns nun über ihre nähere Zusammensetzung unterrichten. Zu diesem Zwecke werden wir einige der wichtigsten derselben aus der Pflanze abscheiden und ihre Erkennungsmittel (Reaktionen) aufsuchen. Aus den Produkten, welche bei ihrer Verbrennung auftreten, werden wir einen Rückschluß auf ihre Bestandteile ziehen. (Der Einfachheit halber sollen aber die chemischen Formeln gleich anfangs beigefügt werden.)

Stärke.

25. Vers. Geschälte und auf dem Reibeisen zerriebene Kartoffeln werden mit Wasser angerührt und in einer Schale stehen gelassen. Nach einiger Zeit wird von dem weißen Bodensatz die darüberstehende Flüssigkeit abgegossen. Man füllt etwas von dem Bodensatz in ein Proberöhrchen, spült es mit Wasser auf und säuert mit 1—2 Tropfen Salzsäure an. Hierauf fügt man einige Tropfen gesättigter hellbrauner Jodlösung hinzu (bereitet durch Auflösen einiger Jodblättchen in Wasser). Es entsteht Blaufärbung (Stärkenachweis). — Man kann auch käufliches (Stärke-)Mehl im Proberöhrchen ebenso behandeln. Die Stärke ist ein fester, in Wasser unlöslicher Körper von der Zusammensetzung: $x\ (C_6H_{10}O_5)$.

Zucker.

26. Vers. 1. Zerkleinerte Stücke von Küchenzwiebeln werden mit Wasser im Proberöhrchen ausgekocht und abfiltriert. Der Saft schmeckt süß und ist etwas klebrig, namentlich wenn er eingedampft wird. Nach vollständigem Verdampfen des Wassers verbleibt ein Rückstand, der Zucker enthält.

2. Kocht man eine Traubenzuckerlösung, eventuell $^1/_2$ bis zu 1 Stunde, auf dem Wasserbade (Vers. 31, 2) unter Zusatz von essigsaurem Phenylhydrazin, so entsteht beim Abkühlen ein goldgelber Niederschlag (ohne Kochen erst nach 24 Stunden).

3. Setze zur Traubenzuckerlösung eine gleiche Menge Fehling'sche Lösung (die man erhält, wenn man zu konzentrierter wässeriger Kupfervitriollösung so lange eine starke Lösung von Kalilauge hinzufügt, bis der entstandene Niederschlag sich wieder löst) und koche die Flüssigkeit. Nach kurzer Zeit entsteht ein roter Niederschlag. (So unter anderem bei Vorhandensein der Zuckerart d-Glukose, $C_6H_{12}O_6$.)

4. Behandle ebenso (wie in 3) Zuckerrübensaft (oder Staubzuckerlösung); es entsteht keine rote Fällung. — Kocht man den Zuckersaft zuerst mit etwa 10 Tropfen konzentrierter Salzsäure durch 10 Minuten und erhitzt erst dann mit Fehling'scher Lösung, so entsteht nunmehr derselbe rote Niederschlag. (Reaktion auf Rohrzucker, Saccharose $C_{12}H_{22}O_{11}$.)

Zellulose.

27. Vers. Die gereinigten Samenhaare der Baumwollstaude bestehen fast nur aus reiner Zellulose y $(C_6H_{10}O_5)$. Auf einen weißen Porzellanteller bringt man eine Portion solcher sogenannten „Bruhns'schen Watte". Durch Betupfen mit einem Tropfen alkoholischer Jodlösung und einem Tropfen verdünnter (1 Teil Wasser, 2 Teile Schwefelsäure) Schwefelsäure oder durch Zusatz von etwas Chlorzinkjod entsteht blaue oder violette Färbung. (Chlorzinkjod erhält man durch Auflösen von 20 Gewichtsteilen Chlorzink, 6·5 Gewichtsteilen Jodkalium und 1·3 Gewichtsteilen Jod in 10·5 Gewichtsteilen destilliertem Wasser.)

Die eben besprochenen Stoffe führen den Namen Kohlehydrate und bestehen aus C, H und O.

Organische Säuren.

28. Vers. 1. Sauerampferblätter werden zerquetscht; ihr Saft reagiert sauer, das heißt, er färbt blaues Lackmuspapier rot infolge des Gehaltes an Oxalsäure $(C_2H_2O_4)$.

2. Wird eine größere Menge Blätter dieser Pflanze samt den Stielen zerquetscht, der Brei in ein Tuch eingeschlagen und ausgepreßt, so kann man aus dem Preßsafte durch Zusatz einer wässerigen Lösung von Chlorkalzium einen Niederschlag (Trübung) von oxalsaurem Kalke erzeugen, welcher eben das Vor-

handensein von Oxalsäure angibt (wenn er bei Zusatz von Salzsäure, aber nicht von Essigsäure, sich wieder auflöst).

3. Der Saft zerquetschter *Echeveria*-Blätter wird filtriert und wässerige Lösungen von Chlorkalzium, Ammoniak und Chlorammon im Überschusse zugesetzt; es bleibt die Flüssigkeit auch bei längerem Kochen klar; fügt man aber das 2—3fache Volumen starken Alkohol hinzu, so bildet sich ein weißer Niederschlag von apfelsaurem Kalke (in siedend heißem Kalkwasser löst sich derselbe wieder auf), welcher das Vorhandensein von Apfelsäure ($C_4H_6O_5$) beweist.

Die letztgenannten Stoffe gehören den im Pflanzenreiche weitverbreiteten organischen Säuren an.

29. Vers. Ein Absud von Blättern oder Rinde der Eiche oder von Galläpfeln wird auf Zusatz einiger Tropfen Eisenchloridlösung „blauschwarz". (Reaktion auf Gerbsäuren.)

Ätherische Öle.

30. Vers. Biegt man eine frische Zitronenschale fest zusammen, so spritzt eine wohlriechende Substanz heraus, die sich an einer Kerzenflamme entzünden läßt. Auf Wasser gespritzt, erzeugt sie an der Oberfläche schwimmende, öltröpfchenartige Bildungen von aromatischem Geruche; es ist dies das ätherische Öl der Zitronenschale.

Fette.

31. Vers. 1. Zerdrücke Hanf- oder Rizinussamen (auch Mandeln oder Nüsse) auf einem Blatt Papier: es bekommt Fettflecke. Legt man einen solchen Samen auf ein Drahtnetz, das man von unten erhitzt, so entzündet er sich und brennt dann von selbst mit rußender Flamme weiter infolge des Gehaltes an fettem Öl. (Nach Kolkwitz.)

2. Man zerreibt etwa 20 *g* obiger Samen, mit etwas reinem Sande gemischt, in einem Mörser und fügt etwa 100 cm^3 Äther hinzu. Das Ganze gießt man in ein Kölbchen, welches in ein größeres Wassergefäß eingehängt wird, ohne dessen Boden zu berühren (sogenanntes Wasserbad); dieses wird dann einige Zeit langsam erwärmt (vorsichtig, damit sich der Äther nicht entzündet!). Hierauf filtriert man den Kolbeninhalt ab (nicht in der Nähe der Flamme!) und bringt auf dem Wasserbade den Äther durch vorsichtiges (!) Erwärmen in einem flachen Schälchen zum Verdampfen. Der Rückstand ist hauptsächlich Fett. Im Rüböle des Rapssamens z. B. ist $C_{18}H_{34}O_3$ enthalten. Bei weiterem Erhitzen entsteht ein brenzlicher Geruch (Akroleïn).

Chlorophyll.

32. Vers. Grüne Blätter (im Winter Graskeimlinge) werden zerkleinert, 10 Min. mit reinem Wasser, dann weiter mit starkem Alkohol auf dem Wasserbade möglichst bei Lichtabschluß ausgekocht und endlich abfiltriert.

Es bildet sich eine schöne grüne Lösung von Blattgrün (= Chlorophyll). Gießt man etwas davon in ein Proberöhrchen, setzt einige Tropfen destilliertes Wasser und dann einige Kubikzentimeter reines Benzol (oder Olivenöl oder Schwefeläther) zu, so trennt sich nach dem Durchschütteln der Mischung und Stehenlassen derselben eine blaugrüne Partie von einer gelblichen Lösung ab, wovon die erste das eigentliche Chlorophyll enthält. Dieses erscheint selbst in ganz verdünnten Lösungen im auffallenden Lichte rot, namentlich wenn man durch eine Sammellinse einen Lichtkegel (Sonnenlicht) darauffallen läßt. In dem Alkohol aber sind gelbe Farbstoffe enthalten.

Die chemische Formel des Chlorophylls ist noch nicht sichergestellt; es besteht aus den Elementen *C*, *H*, *O*, *N* (und *Mg*).

„Holzstoff." 33. Vers. Ein Stück Holz wird mit einem Tropfen Phlorogluzinlösung (etwas Phlorogluzin wird in Alkohol gelöst), sodann mit einem Tropfen Salzsäure betupft: die auftretende kirschrote Farbe zeigt die „Verholzung" an. Betupfen mit einer wässerigen Lösung von schwefelsaurem Anilin erzeugt auf Holz intensive Gelbfärbung. (Nach Wiesner.)

Eiweiß. 34. Vers. 1. Man zerreibt geschälte Kartoffeln auf dem Reibeisen zu einem Brei, rührt ihn mit etwas Wasser an und filtriert ihn nach längerem Stehen in eine Eprouvette. Die klare Flüssigkeit (das Filtrat) liefert beim Erhitzen geronnenes Eiweiß (Albumin), das ursprünglich, bei gewöhnlicher Temperatur, in Wasser gelöst war.

2. Pulverisiere trockene Erbsensamen (oder Lupinen) und übergieße etwa 20—30 *g* derselben mit 200 cm^3 destilliertem Wasser. Setze einige Tropfen Kalilauge zu, bis die Flüssigkeit alkalisch bleibt (das heißt auch nach längerem Stehen rotes Lackmuspapier blau färbt). Nach einer Stunde wird abfiltriert (um das Filtrieren zu beschleunigen, durch ein Haarsieb). Auf Zusatz von etwas Essigsäure zum Filtrat fällt festes Konglutin aus.

Albumin und Konglutin sind Eiweißstoffe von sehr komplizierter Zusammensetzung, deren chemische Formeln noch nicht feststehen. Sie enthalten die Elemente *C*, *H*, *O*, *N*, *S* (manchmal *P*; vgl. noch S. 131, 1. Abschnitt).

3. Behandle etwas festes Pflanzeneiweiß mit Millon's Reagens oder füge zu einem vorher angequollenen, dann durchschnittenen Erbsen- oder Lupinensamen mit einem Glasstabe einige Tropfen des genannten Reagens hinzu. Es tritt, eventuell nach schwachem Erwärmen, eine für Eiweißstoffe charakteristische ziegelrote Färbung ein.

Die Elemente der organischen Verbindungen.

Um die Bestandteile der organischen Verbindungen zu ermitteln, wollen wir diese nun verbrennen und aus ihren Verbrennungsprodukten auf erstere schließen.

35. Vers. Auf einem Drahtbleche erhitzen wir durch eine untergesetzte Flamme vollständig trockene Oxalsäure, bis sie, angezündet, brennt oder wir entzünden in einem Schälchen mit Schwimmer und (Asbest-) Docht (Nachtlämpchen) Olivenöl (Brennöl). Ein größerer, verkehrt darüber gehaltener Trichter beschlägt innen mit Wassertröpfchen (H_2O).

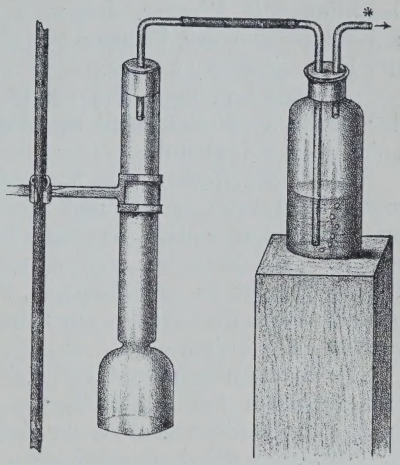


Fig. 3.

Die organischen Stoffe liefern beim Verbrennen Wasser, enthalten somit Wasserstoff (H).

36. Vers. (Fig. 3.) Durch einen durchbohrten Kork, welcher das obere Ende eines weiten Lampenzylinders verschließt, führt eine nicht zu enge Glasröhre im rechten Winkel nach außen und ist mittelst Schlauch an einem zweiten rechtwinkligen Glasrohre befestigt, dessen absteigender Schenkel durch eine Öffnung eines doppelt durchbohrten Korkes fast bis auf den Boden einer kleinen Flasche (sog. Waschflasche) führt; ein kurzes, rechtwinklig gebogenes Glasrohr geht durch die zweite Öffnung und steht mittelst Schlauch mit dem Rohre a einer Saugvorrichtung (Aspirator) in Verbindung.

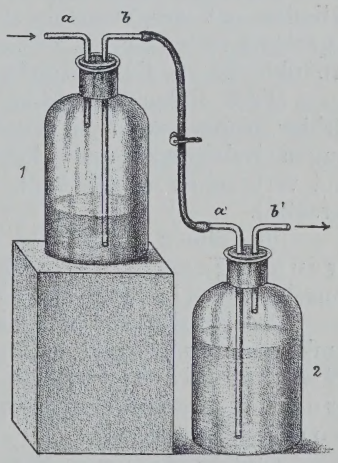


Fig. 4.

Der Aspirator (Fig. 4) besteht aus zwei je zirka 5 l fassenden Flaschen. Jede wird durch einen luftdicht passenden, doppelt durchbohrten Kork verschlossen. Durch die eine Öffnung führt ein langes Rohr fast bis zum Boden, durch die zweite ein kurzes, unterhalb des Korkes bald endigendes Rohr. Beide langen Rohre sind durch einen Kautschukschlauch mit Quetsch-

hahn verbunden. Die eine Flasche (*1*) wird ganz mit Wasser gefüllt und höher als die zweite leere (*2*) aufgestellt. Nun wird bei geöffnetem Quetschhahne am unteren Ende des Schlauches Wasser angesaugt, das sofort abzufließen beginnt, worauf der Quetschhahn geschlossen wird. Jetzt wird der Schlauch bei *a'* angesteckt und der Hahn geöffnet. Die leere Flasche füllt sich allmählich mit Wasser. Indem dieses höher steigt, verdrängt es die Luft aus der Flasche bei *b'*, während gleichzeitig bei *a* Luft in *1* eingesaugt wird.

Je nachdem man also ein Gefäß mit dem Aspirator bei *a* oder bei *b'* verbindet, wird aus dem Gefäße Luft ausgesaugt oder in dasselbe eingeleitet.

Die Schnelligkeit der Strömung hängt von der Weite des langen Abflußrohres ab und kann durch einen regulierbaren Quetschhahn verändert werden. Ist *2* fast gefüllt, so braucht man nur die Stellung von *1* und *2* zu vertauschen, um den Luftstrom nicht zu unterbrechen. Natürlich muß das Gefäß, durch welches die Luft durchgesaugt werden soll, nunmehr an *b'* angeschlossen werden.

(Man kann auch mit einer einzigen Flasche (*1*) auskommen, wenn man das bei *b* abfließende Wasser in einem Gefäße auffängt und damit von Zeit zu Zeit *1* wieder anfüllt. Nur wird der Luftstrom dabei unterbrochen. Auch kann *1* nur zum Saugen benützt werden.)

Verbrennt man organische Stoffe, während der Lampenzylinder mit der Waschflasche und diese mit dem Rohre *a* des Aspirators verbunden ist, so werden die gasförmigen Verbrennungsprodukte durch die Waschflasche geleitet.

Diese füllen wir einmal 1. mit durch Kalkwasser rot gefärbter Nilblaubase (vgl. Vers. 24, 2) bis über die Mündung des langen Zuleitungsrohres, sodann 2. mit Nessler's Reagens und verbrennen *a*) Olivenöl, *b*) Getreidesamen (mit Natronkalk versetzt).

Im Falle *a* und *b* wird das erste Reagens blau: Die Verbrennungsgase der organischen Stoffe enthalten sonach CO_2, diese selbst führen also Kohlenstoff (*C*).

Das Nessler'sche Reagens färbt sich nur im Falle *b* deutlich dunkelgelb und zeigt dadurch die Gegenwart von Ammoniak (NH_3) an: Die Eiweißstoffe lieferten also beim Verbrennen außer CO_2 noch Ammoniak, da sie Stickstoff (*N*) enthalten.

Eingehende chemische Analysen haben ergeben, daß in den Eiweißkörpern auch noch Schwefel (*S*), in manchen anderen Phosphor (*P*) enthalten ist.

Fassen wir unsere Kenntnisse über den Bau der organischen Pflanzenstoffe zusammen und werfen wir einen Blick auf die Zusammensetzung der die Pflanze umgebenden Medien (Erd-

boden, beziehungsweise Wasser und Luft), so erkennen wir sofort: 1. daß die Kohlenstoffverbindungen der Gewächse nicht direkt in der Form, wie sie in den Pflanzen auftreten, von außen aufgenommen worden sein können; 2. daß aber auch die einfachen organischen Verbindungen des Humus nicht in die (meisten) grünen Landpflanzen einwandern können. Wir haben im Gegenteile gefunden, daß die grünen Pflanzen durchaus gedeihen, wenn ihren Wurzeln unorganische Mineralverbindungen zur Verfügung stehen. Und die Boden- und Luftanalyse haben gezeigt, daß die Pflanze alle Elemente (*C, H, O, N, S* und *P*), welche in ihren organischen Substanzen anzutreffen sind, in ihrer Umgebung meist in gebundener Form vorfindet. Nur diese „Bausteine" kann sich die grüne Pflanze von außen verschaffen. Die Verarbeitung derselben zum Aufbau der *C*-Verbindungen ihres Körpers erfolgt erst innerhalb der Pflanze durch die Lebenstätigkeit des Zellplasmas.

Vorläufig bleibt nur noch hauptsächlich unentschieden, ob *C* und *N* der organischen Stoffe dem Erdboden oder der Luft entnommen werden. Die Entscheidung hierüber werden weitere Versuche bringen müssen. (Vgl. Vers. 105 und 144.)

Rolle der Mineralsalze.

Daß die Mineralsalze eine große Rolle im Stoffwechsel der Pflanze spielen müssen, ist nach dem, was wir von ihrer Unentbehrlichkeit erfahren haben, sicher. Im einzelnen ist diese Bedeutung allerdings nur recht wenig bekannt; doch ist es zum Beispiel leicht zu erkennen, daß *S*, *P* und *N* bei der Bildung der Eiweißkörper verbraucht werden; *K* scheint bei der Assimilation von Wichtigkeit zu sein, *Ca* dürfte als Transportmittel beim Stoffwechsel dienen, während *Mg* und *P* namentlich in den Samen in größerer Menge vorkommt und ohne *Fe* kein Blattgrün entsteht. In welcher Weise aber die Mineralsalze in die chemischen Vorgänge des Stoffwechsels eingreifen, wissen wir nicht.

Aufgaben.

1. Bestimme den Wassergehalt von Hutpilzen („Schwämmen") und drücke ihn in Prozenten des Lebendgewichtes aus. (Vers. 3, 4.)

2. Bei welcher Konzentration der Nährlösung gehen die Versuchspflanzen zugrunde? (Vers. 16, 19.)

3. Berechne den Prozentgehalt der Nährstofflösung (Vers. 19) an festen Stoffen.

4. Kultiviere einen Weidenzweig, der vorher im Wasser Wurzel geschlagen hat, in einer Nährstofflösung. (Vers. 19.)

5. Untersuche verschiedene Papiersorten auf Zellulose (Vers. 27) und auf Verholzung (Vers. 33).

6. Welche Zuckerarten sind in weißen Trauben und in frischen Kokosnußkernen enthalten? (Vers. 26.)

7. Warum sind die Samen von Hülsenfrüchten so nahrhaft? (Angequollene Samen durchschneiden und nach Vers. 25 und 34, 3 prüfen.)

8. Versuche aus den weißen Partien panaschierter Blätter von *Acer Negundo* Chlorophyll auszuziehen. (Vers. 32)

9. Gieße in eine Schale eine alkoholische Chlorophyllösung (Vers. 32) und lasse darin einen Filterpapierstreifen einige Millimeter tief eintauchen. Beobachte, wie die aufsteigende Lösung sich im Papier in einen grünen und einen gelben Anteil sondert (Goppelsröder).

10. Wiederhole den Verbrennungsversuch 36 mit verschiedenen organischen Stoffen.

Die Nahrungsaufnahme durch die Wurzeln.

Wie nehmen nun die Pflanzen ihre Nahrung auf? Den Mechanismus dieser Stoffaufnahme stellt man sich wohl auch heute noch oft so vor, wie das Aufsteigen von Flüssigkeiten durch einen Docht. Man setzt dabei stillschweigend voraus, daß die aufnehmenden Organe der Pflanzen einen ganz ähnlichen Bau wie der genannte Körper besitzen, das heißt offene Röhrchen enthalten, in welchen die Flüssigkeiten kapillar durch sogenannte Haarröhrchenwirkung aufsteigen. Seit Robert Hooke zum erstenmal (1667) mit dem Vergrößerungsglase die innere Struktur der Pflanzenteile zu untersuchen begann, bis herauf in die neueste Zeit, hat man zur größten Überraschung in allen Partien der Pflanze nur rings durch eine Membran verschlossene bläschenartige Gebilde als elementare Bausteine aufgefunden. Diese Zellen, wie sie schon Hooke nannte, ins Riesenhafte vergrößert gedacht, sind — freilich nicht immer in der äußeren Gestalt — etwa einem seiner Kalkschale entledigten Hühnerei vergleichbar (Fig. 4a); außen von einer Haut, der sogenannten Zellwand oder Zellmembran (*w*), umschlossen, enthalten sie innen eine zähe, schleimigflüssige, Körnchen führende Masse, das sogenannte Protoplasma (*pr*), welches Eiklar und Eidotter zusammen entspricht; und wie im Dotter eine abgegrenzte Partie als „Keimbläschen" sich abhebt, so erscheint im pflanzlichen Protoplasma der „Zellkern" (*k*) als eigenartiges Gebilde eingelagert

Die Zelle.

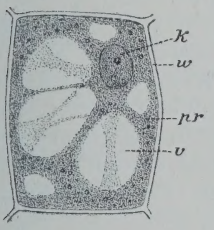


Fig. 4a.

Ungezählte Tausende solcher Zellen sind miteinander öfters fast lückenlos zu einem „Gewebe" verbunden. Nirgends führt nun in das Gewebe der nahrungsaufnehmenden Wurzel eine röhren- oder lückenartige Öffnung hinein. Die Nahrungsaufnahme muß also in ganz anderer und komplizierterer Weise vor sich gehen als das Aufsteigen und Aufsaugen im Dochte, nämlich durch eine geschlossene organische Membran hindurch. Es leuchtet ein, daß nur Lösungen (oder Gase), nicht aber feste Körper hierzu normalerweise geeignet sind.

Die Stoffaufnahme durch die Zelle:

Wir wollen zunächst untersuchen, unter welchen Bedingungen eine derartige Stoffaufnahme, rein physikalisch betrachtet, vor sich geht. Denken wir uns auf beiden Seiten der trennenden Membran wässerige Lösungen — nur solche kommen bei Pflanzenzellen hauptsächlich in Betracht — so müssen diese die Wand passieren, was vor allem nur dann möglich ist, wenn diese Wasser aufnehmen kann. Tatsächlich sind nun bekanntlich die Pflanzen und alle ihre Zellen stets von Wasser durchtränkt [= imbibiert] (vgl. Vers. 2) und entsprechen somit der genannten Bedingung. Die Folge dieser Durchtränkung (Imbibition) zeigt nachstehender Versuch.

Imbibition, Quellung.

37. Vers. 1. Wir lassen uns walzenförmige Holzstücke (aus verschiedenem Material) von etwa 10 *cm* Länge und 5 *cm* Dicke zubereiten und bestimmen diese Dimensionen auf Millimeter genau mit einem Maßstabe.

Nach 24stündigem Liegen in Wasser trocknen wir sie ab und messen sie wieder. (Vgl. auch Aufgabe 1 und 2.)

2. (Fig. 5.) Ein flaches Fichtenbrettchen, das so aus einem Stammstücke herausgeschnitten wurde, daß auf der einen Schmalseite die Jahresringe zu sehen sind, wird an zwei anstoßenden Schmalseiten (deren eine also der Quer-, deren andere der Längsrichtung des Stammes entspricht) mit Drahtringen versehen, durch welche ein rechtwinklig gebogener Draht von der Länge der Kanten wie in der Figur lose durchgesteckt wird. (Vorlesungsexperiment nach Wiesner.) — Wird das Holzbrettchen eingequollen, so dehnt es sich in der Querrichtung stärker aus als in der Längsrichtung, wie der Vergleich mit der Drahtlänge ergibt.

Fig. 5.

Aus unseren Beobachtungen ergibt sich ein mitunter sehr beträchtliches Quellungsvermögen der Pflanzengewebe, speziell ihrer Membranen als Grundbedingung für die Möglichkeit von Stoffdurchtritt. Denn bei dieser Quellung werden die Moleküle der Membran durch das mit großer Kraft aufgenommene und festgehaltene Wasser auseinandergeschoben, wodurch die Wanderung der Teilchen der gelösten Stoffe in ausgedehntem Maße ermöglicht wird.

Wir stellen nun folgenden physikalischen Apparat zusammen.

Osmose.

38. Vers. (Fig. 6.) Über den abgesprengten und eben geschliffenen Boden einer kleinen (Medizin-) Flasche binden wir ein Stück vorher in Wasser eingeweichter Schweinsblase straff mittelst

Bindfadens fest, den wir mehreremal um den Rand der Flasche gelegt und zugeknüpft haben. Wir hängen nun das Ganze, etwa mittelst Draht, mit dem zugebundenen Ende nach abwärts, in ein größeres Gefäß und füllen in dieses so hoch reines Wasser ein, daß dieses etwas höher als die Membran der Flasche steht. Die letztere gießen wir bis zum Rande voll mit einer ziemlich konzentrierten Lösung von Kupfervitriol und setzen in den Hals einen der Länge nach durchbohrten Kork, in welchem ein etwa 4—5 *mm* weites Glasrohr steckt, in dem das Kupfervitriol bis zu einer gewissen Höhe emporsteigt. Diese Stelle bezeichnen wir mit einer unverrückbaren Marke (durch einen Tintenstrich oder einen aufgeklebten Papierstreifen). Als Membran kann man auch Pergamentpapier oder das noch dünnere „Banderuche“ benützen. (Es ist nur zu verhüten, daß durch zu starkes Dehnen die Membran vielleicht feine Risse bekommt.) An Stelle des Fläschchens läßt sich mit Vorteil ein etwa 3—4 *cm* weiter Lampenzylinder verwenden, dessen oberes, das Steigrohr aufnehmende Ende durch einen gut passenden Kork oder Kautschukpfropfen zu schließen ist.

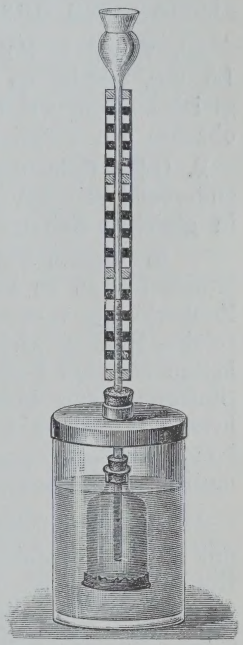


Fig. 6.

Nach einiger Zeit ist die Flüssigkeit im äußeren Gefäße blau geworden; es muß also tatsächlich durch die Membran Stoff (Kupfervitriol) hindurchgewandert sein. Gleichzeitig ist im engen Glasrohre die Flüssigkeit gestiegen, also hat gleichzeitig eine Wanderung von Stoff (Wasser) in entgegengesetzter Richtung, von außen nach innen, stattgefunden, und zwar ist mehr Wasser hineingewandert, als Kupfervitriol herausgekommen. Es ist so, als hätte gewissermaßen das Kupfervitriol im Innern Wasser von außen an sich gesaugt.

Man nennt dieses Wandern von Substanzen durch eine (organische) Membran hindurch Osmose.

39. Vers. Nehmen wir zum Versuche beiderseits reines Wasser oder außen und innen eine Kupfersulfatlösung von gleicher Konzentration.

In diesem Falle ändert sich der Flüssigkeitsstand im Steigrohre nicht: Osmotischer Stoffaustausch findet nur zwischen Lösungen verschiedener Konzentration desselben Stoffes statt. (Wir können das Wasser als eine

unendlich verdünnte Kupfervitriollösung auffassen.) Dauert der Versuch längere Zeit an, so tritt endlich ein Stillstand in der Stoffwanderung ein, die Steighöhe überschreitet ein gewisses Maß nicht mehr. Es ist dies der Fall, wenn beiderseits der Membran dieselbe Konzentration hergestellt ist, indem dann außen und innen gleichviel Salzmoleküle in der Lösung sind und somit kein Grund zu weiterer Strömung gegeben ist. Die Osmose sucht auf beiden Seiten der trennenden Membran einen stationären Zustand (Gleichgewicht) herzustellen.

40. Vers. 1. Fülle den osmotischen Apparat innen mit einer Lösung, welche im Liter 9 *g* Kochsalz enthält, außen mit einer gleich konzentrierten Zuckerlösung. (Nach De Vries.) Man beobachte den Flüssigkeitsstand im Steigrohre.

2. Oder fülle das innere Gefäß einmal mit Kochsalz-, das anderemal mit der Zuckerlösung und bestimme die Steighöhe in gleichen Zeiten.

In diesem Falle (1) kommt es trotz beiderseits gleicher Konzentration zu keinem Gleichgewichte; man muß außen eine Zuckerlösung verwenden, welche etwa 76 *g* im Liter enthält, um solches Gleichgewicht herzustellen; erst jetzt üben beide Flüssigkeiten dieselbe wasseranziehende Kraft aus, so daß es zu keiner Stoffwanderung kommt. Flüssigkeiten von dieser Eigenschaft heißen isosmotisch. Sie verhalten sich also wie zwei gleichkonzentrierte Lösungen desselben Salzes in bezug auf den osmotischen Stoffaustausch.

41. Vers. Wir füllen das innere Gefäß unseres Apparats, den wir mit Pergamentpapier verschlossen haben, mit fast konzentrierter Rohrzuckerlösung, das äußere mit reinem Wasser. Gleichzeitig bereiten wir eine 20%ige Kochsalzlösung (damit sie dieselbe Temperatur annimmt) und ersetzen nach etwa einer Stunde, nachdem wir die Steighöhe gemessen haben, das reine Wasser durch diese Salzlösung, messen neuerdings die Steighöhe nach einer Stunde und ebenso nach neuerlicher Verwendung von reinem Wasser. (Nach Detmer.)

Wir beobachten je nach der Natur der Außenflüssigkeit verschiedene Steighöhen: Die osmotische Leistungsfähigkeit unseres Apparats hängt wesentlich von der stofflichen Beschaffenheit der wirksamen Substanzen ab. — Sie wird ferner von der Temperatur der Lösungen beeinflußt. (Siehe Aufgabe 5.)

Aus zweckentsprechenden Versuchen folgt ferner die Tatsache, daß ein Stoff von einer Membran durchgelassen, von einer anders beschaffenen Membran aber zurückgehalten werden kann: die Osmose wird auch wesentlich von der Membranbeschaffenheit beeinflußt.

Was wir am physikalischen Apparat beobachtet haben, müssen wir nun mit dem Verhalten der Pflanzenzellen zu vergleichen suchen.

Am pflanzlichen Objekt könnten wir nun entweder die Aufnahme oder die Ausscheidung von Stoffen mit Hilfe unserer über die osmotischen Vorgänge gewonnenen Vorstellungen untersuchen. Dabei ist aber zu bemerken, daß das genaue Studium der Stoffaufnahme seitens der einzelnen Zelle nur unter Zuhilfenahme des Mikroskops geschehen kann, also außerhalb des Rahmens unserer Arbeit liegt. Hingegen möge an ein paar Versuchen die osmotische Ausscheidungsfähigkeit pflanzlicher Zellen untersucht werden. Doch sei zuerst zum Zwecke des Vergleiches ein physikalisches Experiment eingeschaltet.

42. Vers. Als Ersatz der pflanzlichen Membran benützen wir jetzt ein Stück von in seinen Eigenschaften sich ähnlich verhaltendem Pergamentpapier, als Außenflüssigkeit Wasser, während wir innen eine Zuckerlösung oder den verdünnten Saft roter Rüben eingießen. Das Steigrohr ist beim jetzigen Versuche überflüssig.

Wir konstatieren nach einiger Zeit den Durchtritt dieser Stoffe nach außen (vgl. die Methode des Zuckernachweises in Vers. 26): Pergamentpapier ist für die genannten Körper durchlässig (permeabel).

43. Vers. Man schneidet eine dicke Rübe oder schwarzen Rettich quer durch, höhlt aus der Schnittfläche eine etwa fingerbreite, einige Zentimeter tiefe Grube aus und stellt die Rübe mit dem spitzen Ende in ein Wasserglas. Hierauf füllt man die Höhlung mit trockenem, gestoßenem Zucker. Als Gegenversuch bringt man eine gleiche Zuckermenge in ein Schälchen daneben.

Das Innere der Höhlung füllt sich allmählich mit einer konzentrierten Zuckerlösung, welche überfließt; das hierzu benötigte Wasser stammt, wie der Gegenversuch zeigt und das Schrumpfen der Rübe bestätigt, nicht aus der Feuchtigkeit der Luft her, sondern ist osmotisch durch die Zellwände nach außen „diosmiert". Die pflanzliche Zellmembran ist somit für Wasser durchlässig; sie kann dasselbe nach außen abgeben.

44. Vers. Wäscht man die Rübe gründlich ab und legt sie in reines Wasser, so findet der entgegengesetzte Vorgang statt.

Die geschrumpfte Rübe schwillt wieder an: die Zellhaut kann auch umgekehrt Wasser von außen aufnehmen.

45. Vers. Wir schneiden aus einer Zuckerrübe (deren Zellen reich an Zucker sind), ein dickes Stück heraus und waschen es gründlichst unter fließendem oder oftmals erneutem Wasser ab, um allen Zucker, der aus den angeschnittenen Zellen stammt,

zu entfernen. Wir legen das Rübenstück jetzt in reines Wasser und untersuchen dieses auf Zucker (Vers. 26).

Nach mehreren Stunden, ja selbst nach Tagen ist kein Zucker herausdiosmiert.

46. Vers In ganz gleicher Weise wie die Zuckerrübe behandeln wir ein Stück roter Rübe.

Der Rübensaft färbt das umgebende Wasser nicht (oder höchstens sehr schwach) rot. (Vgl. aber Vers. 47.)

Zunächst folgt daraus, daß die Pflanzen sich bezüglich der Aufnahme verschiedener Stoffe verschieden verhalten. Mineralsalze werden, wie wir wissen, leicht durch die Membran aufgenommen, während Zucker- und roter Rübensaft nicht in demselben Maße die Membranen passieren können.

Feinerer Bau der Zelle.

Haben uns schon die bisherigen Versuche erkennen lassen, daß die Aufsaugung von Flüssigkeiten durch Kapillarität weit einfacher als die osmotische Stoffaufnahme ist, so erscheint uns diese noch komplizierter, wenn wir nunmehr den inneren Bau der Zelle (s. Fig. 4a) genauer in Betracht ziehen. Der Zellwand (*w*) schmiegt sich die Außenseite des Protoplasmas (*pr*) an, das nur in der Jugend den ganzen Hohlraum der Zelle erfüllt, späterhin aber durch Flüssigkeitstropfen (*v*), welche innerhalb des Plasmas entstehen und, miteinander verschmelzend, sich immer mehr und mehr ausbreiten, allmählich an die Zellwand zurückgedrängt wird. In alten Zellen bildet das Plasma nur mehr einen dünnen Belag rund um den sogenannten Zellsaftraum (= Vakuole, *v*), welcher mit einer wässerigen Lösung verschiedener Stoffe erfüllt ist. Das Plasma selbst ist ebenfalls wasserhältig und mit den gleichen oder anderen Lösungen durchtränkt, von welchen ein Teil von außen aufgenommen worden ist. Die Möglichkeit, daß diese Substanzen von außen in die Zelle aufgenommen werden, hängt also nicht nur von der Beschaffenheit der Zellwand allein ab; auch die osmotischen Eigenschaften der peripheren Grenzschicht des Protoplasmas spielen dabei offenbar eine entscheidende Rolle mit. Daß tatsächlich derjenige Zellbestandteil, welcher als das eigentlich Lebende zu betrachten ist, nämlich das Plasma, auf die osmotischen Vorgänge einen Einfluß ausübt, muß sich daraus erkennen lassen, wenn nach dem Abtöten der Zelle die Ausscheidungsvorgänge sich ändern.

47. Vers. Wir töten unsere Zuckerrübe durch einige Minuten währendes Eintauchen in kochendes Wasser und untersuchen neuerdings, ob Zucker herausdiosmiert; und ebenso verfahren wir mit der roten Rübe.

Es fällt jetzt leicht, im Wasser Zucker und deutliche Rotfärbung nachzuweisen. Durch das Abtöten haben sich aber nur die osmotischen Eigenschaften des Protoplasmas geändert; wie

man jetzt erkennt, würde die Zellwand dem Austritte von Zucker und Farbstoff keinen Widerstand entgegengesetzt haben. Aber das Plasma war für diese Stoffe undurchlässig (impermeabel): Zellwand und Protoplasma zeigen verschiedenes osmotisches Verhalten; erstere ist für viele Stoffe durchlässig, für welche das lebende Protoplasma impermeabel ist.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß das Plasma der lebenden Zelle wasserhältig ist, und des eben ausgesprochenen Ergebnisses können wir also sagen: Das Protoplasma wird von Wasser leicht durchdrungen, ist aber für andere Stoffe oft ganz undurchlässig (semipermeabel). Die mikroskopische Untersuchung hat es bestätigt, daß viele Substanzen zwar von der Zellwand durchgelassen werden, aber nicht weiter in die Zelle eindringen können. Durch diese nochmalige Komplikation der Stoffaufnahme hat die Pflanze ein Mittel an der Hand, je nach den osmotischen Eigenschaften des Protoplasmas eine Auswahl nach Menge und Art unter den ihr dargebotenen Stoffen treffen zu können. Sie muß nicht, wie ein Schwamm, wahllos alles aufnehmen, was ihre Wurzeln umspült; und es hängt wesentlich von der Beschaffenheit der Plasmahaut ab, welche sich bei verschiedenen Pflanzen höchstwahrscheinlich abweichend verhalten wird, wenn aus demselben Boden die eine Pflanze Stoffe aufnimmt, welche in der unmittelbar danebenstehenden nicht anzutreffen sind. Noch verwickelter werden diese Verhältnisse, wenn man noch die gleiche Fähigkeit der einzelnen „inneren" Plasmahäute in Betracht zieht, welche die Vakuolen einer Zelle umkleiden. Ändern diese ihre Permeabilität, dann können Stoffe, die vorher getrennt waren, zusammentreffen und chemische Vorgänge erzeugen, die für das Pflanzenleben von größter Wichtigkeit sein können. Semipermeabilität des Protoplasmas.

Für die Pflanzenzellen hat die große Durchlässigkeit des Protoplasmas für Wasser eine wichtige Folge.

48. Vers. Wir füllen den unten verschlossenen Zylinder mit konzentrierter Zuckerlösung ganz voll, so daß die Flüssigkeit oben eine kleine Kuppe bildet. Ohne ihn nun auf die untere Fläche aufzustellen, lassen wir von einem Gehilfen das obere Ende ebenfalls mit einem vorher eingeweichten Stück Schweinsblase verbinden (so lassen sich die sonst unvermeidlichen Luftblasen im Zylinder leicht vermeiden). Jetzt legen wir ihn wagrecht in ein mit Wasser gefülltes größeres Gefäß ein. Es dringt mehr Wasser hinein, als Zucker herausdiosmiert. Daher steigt die Menge der Flüssigkeit im inneren Gefäße. Turgor.

Wir beobachten, wie die Membranen des Zylinders infolgedessen alle beide nach außen vorgewölbt werden. Dieser durch die osmotischen Vorgänge im Innern des Zylinders entstandene

Druck kommt in ganz ähnlicher Weise auch in Pflanzenzellen zustande. Dieser osmotische Druck in pflanzlichen Zellen heißt „Turgor“. Er ist eine Folge des Umstandes, daß die Membran für Wasser durchlässiger als für andere Stoffe (Salze) und der osmotische Apparat (die Zelle) allseitig durch eine Wand verschlossen ist.

49. Vers. Wir stechen nach einigen Stunden eine der beiden Membranen des im vorigen Versuche benützten Zylinders mit einer feinen Nadel durch. Ein weit hervorspritzender Strahl veranschaulicht uns, wie bedeutend dieser Druck war. Mit dem Abfließen des Wassers läßt die Spannung der elastisch gedehnten Membranen nach.

Plasmolyse.

Wir machen nun den umgekehrten Versuch.

50. Vers. Der Zylinder wird mit Wasser und das Außengefäß mit Rohrzuckerlösung gefüllt; beide Membranen werden straff übergespannt.

Hier ist die Wasserbewegung entgegengesetzt gerichtet: es tritt mehr Wasser aus, als Rohrzucker in den Zylinder eindringt; die Membranen sind schlaff geworden oder nach innen gewölbt. Auch pflanzlichen Zellen kann durch osmotische Vorgänge in ähnlicher Weise Wasser entzogen werden.

Denken wir uns eine Pflanzenzelle in eine Flüssigkeit gebracht, welche höher konzentriert ist als der Vakuoleninhalt, so wird aus diesem Wasser nach außen treten; der Zellturgor wird sinken, das elastische Protoplasma zieht sich zusammen und hebt sich von der Wand ab (es wird „plasmolysiert“); die vorher von dem „turgeszierenden“ Protoplasma gedehnte Zellmembran verkürzt sich ebenfalls elastisch, aber um einen kleineren Betrag. Wir wollen die Folgen dieser Erscheinung, der sogenannten „Plasmolyse“, nicht unter dem Mikroskop an der einzelnen Zelle, sondern „makroskopisch“, das heißt mit freiem Auge beobachten.

51. Vers. In eine 10—20%ige Kochsalzlösung legt man 3—4 *cm* lange Erbsenwurzeln oder 8—10 *cm* lange, lebhaft wachsende Stengelstücke von Keimpflanzen etc. oder noch unverholzte Zweigenden eines (entblätterten) Holzgewächses, deren Gesamtlänge man in Millimetern abmißt. (Man kann auch in Abständen von einigen Zentimetern zwei Tuschmarken auftragen, deren Entfernung man bestimmt.) Nach mehrstündigem bis ganztägigem Verweilen sucht man neuerdings die Länge der Pflanzenteile (oder die Distanz der Marken) zu ermitteln:

In Salzlösungen eingelegte Pflanzenteile verkürzen sich durch Plasmolyse; sie werden infolge des Turgorverlustes mehr oder weniger schlaff.

52. Vers. Bringe die genannten Pflanzen in reines Wasser zurück. Der Turgor als Festigungsmittel.

Durch neuerliche Wasseraufnahme werden sie wieder länger und prall (turgeszent); nur die Turgorkraft hat sie wieder zu strecken vermocht. So spielen die inneren Vorgänge der Wasseraufnahme und -abgabe seitens der einzelnen Zelle eine wichtige Rolle als Festigungseinrichtung zarter, krautiger Pflanzenteile. Der Turgor wirkt dabei ähnlich, wie wenn ein einseitig verschlossener Kautschukschlauch, in dessen offenes Ende man Wasser einpreßt, dadurch straff gespannt und steif wird. Wir werden ein ungefähres Maß dieser Turgorkraft bekommen, wenn wir die durch Plasmolyse verkürzten Pflanzenorgane durch Gewichte bis auf die ursprüngliche Länge wieder ausdehnen. Die belastenden Gewichte leisten dann dasselbe wie der Turgor. Größe des Turgors.

53. Vers. (Fig. 7; nach Detmer, modifiziert.) Ein mit zwei, mehrere Zentimeter voneinander entfernten Marken (*m*,*m*) versehener Keimstengel von Bohnen u. a. (oder 1—2 *mm* dicke Blütenschäfte des Wegerichs [*Plantago*] oder dünne Zweigenden eines Strauches), dessen Verkürzung infolge Plasmolyse gemessen wurde, wird auf einem Brettchen mittelst zweier Korkplättchen an einem Ende festgeklemmt, indem es zwischen die etwas ausgehöhlten Korke gebracht und diese mittelst zweier Schrauben aneinandergepreßt und auf dem Brettchen festgeschraubt werden. Am anderen Stengelende wird ein Bindfaden befestigt, der über eine Rolle läuft und eine leichte Wagschale trägt. Auf diese werden so lange Gewichte aufgelegt, bis die Marken auf die ursprüngliche Länge voneinander entfernt worden sind. — Mittelst eines Zirkels mit zwei Spitzen kann man den (mittleren) Durchmesser des Stengels (das Mittel aus mehreren Messungen) finden und nach der Formel $r^2\pi$ die Querschnittfläche des zylindrisch angenommenen Stengels berechnen. War zum Beispiel das zur vollständigen Streckung nötige Gewicht (das Gewicht der Schale ist hinzuzufügen) $p = 60\ g$, die Querschnittfläche $f = 3{\cdot}14\ mm^2$, so läßt sich daraus das Gewicht berechnen, welches bei einem Querschnitte von $1\ cm^2 = 100\ mm^2$ dieselbe Dehnung hervorgebracht haben würde ($p' = 1910\ g$).

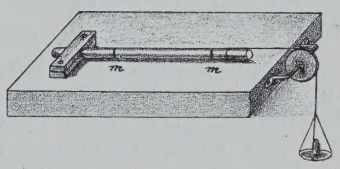


Fig. 7.

Dieses Gewicht (p') läßt sich nach der Formel berechnen: $p' = \frac{100.p}{f}$ und wird in „Atmosphären“ (*at*) ausgedrückt (1 *at*

entspricht einem Gewichte von 1033 *g* auf 1 cm^2). In unserem Falle hätten wir also $p' = 1910\ g = 1{\cdot}8\ at$.

Aus derartigen Versuchen ergab sich, daß der Turgordruck der Zellen durchschnittlich hoch ist (3—4 *at* sind sehr gewöhnlich).

Ja, man kennt Fälle, in welchen selbst Drucke von über 20 *at* beobachtet worden sind. Die Größe dieser Werte wird durch einen Vergleich anschaulicher werden: in den sogenannten Mitteldruckdampfmaschinen (Lokomotiven) beträgt der Dampfdruck nur $1^1/_2$—3 *at*, in Hochdruckmaschinen 3—12 *at*. Aber auch schon bei geringerem Turgor würde das Protoplasma zerrissen werden, wenn es nicht an der viel starreren Zellwand einen Widerhalt fände.

Physikalische Eigenschaften des Bodens.

Wir haben den Erdboden als die Nahrungsquelle für die unorganischen Salze des Pflanzenkörpers erkannt und müssen uns jetzt mit einigen seiner Eigenschaften näher vertraut machen.

54. Vers. 1. Durch Ausbreiten an der Luft getrocknete Feinerde wird unter wiederholtem Aufstoßen in einen Lampenzylinder eingerüttelt, der unten mit einem Leinwandläppchen zugebunden ist. Dieses Ende läßt man in Wasser tauchen und beobachtet das Emporsteigen des Wassers an dem Dunklerwerden der Erde.

2. Füllt man in den ebenso mit schwach angefeuchteter Erde gefüllten Zylinder von oben langsam eine bestimmte Menge Wasser ein, so wird in eine untergestellte Mensur nur ein Teil davon abfließen.

Die Feinerde kann Wasser kapillar aufsaugen und mit großer Kraft festhalten. Wenn die oberen Bodenschichten durch Winde Wasser verlieren, so saugen sie von dem Untergrunde neues Wasser empor und verhüten so gänzliches Austrocknen. Niederschlagswasser hinwiederum kann in gewöhnlichen Böden nicht einfach durchsickern und verschwinden, sondern es bleibt stets ein beträchtlicher Teil im Boden zurück, der an den Bodenteilchen „adhäriert".

55. Vers. Ein wie oben zubereiteter Zylinder (oder ein großer, mit trockenem Filterpapier ausgekleideter und mit Erde gefüllter Trichter) wird in kleinen Portionen in der Mitte der Erdoberfläche mit etwas Wasser begossen, welches entweder mit Eosin (oder Indigokarmin) gefärbt ist oder das in 100 cm^3 etwa $3^1/_2$ *g* phosphorsaures Natrium enthält. — Man untersucht die Farbe des abfließenden Wassers (durch Vergleich mit einer aufbewahrten Menge der ursprünglichen Lösung) oder vergleicht die Menge des im Filtrat bei Zusatz von molybdänsaurem Ammon (vergl. Vers. 15) entstandenen Niederschlages (indem man

gleiche Mengen des Filtrats und der anfänglichen Lösung mit gleichviel Reagens versetzt).

Das abfließende Wasser hat allen oder den größten Teil des gelösten Stoffes verloren: die Feinerde vermag gewisse Stoffe (Salze) zu „absorbieren“ und mit großer Kraft festzuhalten; das gilt namentlich für die wichtigen Nährstoffe Kali, Stickstoff und Phosphorsäure. Es ist leicht einzusehen, daß derart die Nährstoffe der Pflanze vor dem Fortgespültwerden durch Niederschläge geschützt sind. Dadurch wird der Erdboden zu einem Reservoir an Nährsalzen, das nur allmählich ausgebeutet werden kann; die Wurzeln können zunächst nur das kapillar festgehaltene Wasser, welches einer verdünnten Salzlösung entspricht, direkt aufnehmen; die Folge davon ist ein Zuströmen von Nährwasser auch aus ferneren Bodenpartien, die also auch der Wurzel tributpflichtig gemacht werden, ohne daß sie direkt von ihr durchwachsen sind. Ist dieses Wasser verbraucht, so wird der Boden für die Pflanze trocken sein, obwohl er noch durch Adhäsion ziemliche Wassermengen festhält, die aber der Pflanzenwurzel kaum mehr zugänglich sind: die Absorption durch den Boden ist stärker als die aufnehmende Kraft der Wurzel. Diese muß schon eine gewisse Größe erreichen, um das leichter bewegliche Wasser aufsaugen zu können. Dies wird zunächst durch eine Vergrößerung der aufsaugenden Wurzeloberfläche erreicht, wozu die vielfache Verzweigung der Wurzel wesentlich beiträgt.

Die Wurzel als Nahrung aufnehmendes Organ.

56. Vers. Man stülpt durch Umkehren des Topfes und einige kräftige Schläge gegen den Boden desselben den ganzen Erdballen einer Topfpflanze aus dem Blumentopfe heraus.

Ein unentwirrbarer Knäuel vielfach verzweigter Wurzeln durchzieht den ganzen Erdballen, jedes Erdklümpchen ist davon durchsetzt. Man fand, daß zum Beispiel eine erwachsene Sonnenrose mit ihren Wurzeln 1 m^3 Erde durchzog.

57. Vers. Kultiviere in einem Topfe oder zwischen Sägespänen *Helianthus*-Pflänzchen; nachdem sie einige Größe erreicht haben, stülpe die Erde (oder die Sägespäne) heraus und wasche vorsichtig die Wurzeln in Wasser aus. Hierauf läßt man sie zwischen Fließpapier etwas abtrocknen und kopiert sie auf photographisches Papier (unter Glas). Auf die Zeichnung legt man, dem Wurzelverlaufe entsprechend, nasse Zwirnfäden, deren Gesamtlänge die Länge des Wurzelsystems ausdrückt.

Eine einjährige, also ganz niedrige Fichte ergab als Gesamtsumme der Länge aller Wurzelfasern 2 *m*, eine ebenso alte Kiefer 12 *m*. Bei größeren Pflanzen sind die Zahlen natürlich erheblich größer. Die Gesamtlänge aller Wurzeln einer einjährigen Getreidepflanze wird auf 500—600 *m*, die eines großen Kürbisses auf 25 *km* geschätzt!

Eine zweite Form der Oberflächenvergrößerung erkennen wir bei genauerer Betrachtung der Wurzelenden.

58. Vers. Kultiviere *Helianthus-* oder *Sinapis*-Samen auf nassem grauen Löschpapier, welches in mehrfacher Lage den Boden einer Glasschale bedeckt; letztere wird mit einer Glasplatte gegen Staub geschützt und an einem dunklen Orte aufgestellt.

Man kann nun (Fig. 8, *1*) an den Spitzen der Haupt- und der Seitenwurzeln feine, der Unterlage oft dicht anliegende Härchen wahrnehmen, die sogenannten Wurzelhaare, welche nichts anderes als schlauchförmige Ausstülpungen von Zellen der Wurzeloberhaut darstellen, also verlängerte Zellen sind. An Erbsenwurzeln zählte man ihrer 230 auf dem Quadratmillimeter, bei Maiswurzeln etwa 430. Aus ihrem Durchmesser und ihrer Länge ergibt sich eine dadurch erzielte Oberflächenvergrößerung der behaarten Wurzelpartie bei der Erbse auf das Zwölffache. Die Wurzelhaare entspringen aber, wie genauere Untersuchung zeigt, erst ein Stück hinter der ununterbrochen fortwachsenden Spitze an solchen Stellen, welche ihr Wachstum bereits eingestellt haben. In dem Maße, als hinter der fortwachsenden Spitze neue Wurzelhaare entstehen, sterben ältere ab, so daß nur eine kleine Wurzelpartie behaart ist. Die Wurzelhaare haben eine kurze Lebensdauer, die meist nur nach einigen Tagen zählt.

Fig. 8.

Daß diese Wurzelhaare tatsächlich die eigentlichen Ernährungsorgane der Wurzel darstellen, geht aus verschiedenen Beobachtungen hervor.

59. Vers. Man kultiviert Samen der im Vers. 58 angeführten Pflanzen in Erde oder Sägespänen, um nach einiger Zeit die Wurzeln abzuspülen. Dort, wo die Wurzelhaare stehen, sind die Wurzeln mit „Höschen“ von Bodenpartikeln überzogen, welche auch nach langem Abwaschen nicht zu entfernen sind.

Die Wurzelhaare sind mit Bodenpartikelchen ungemein fest verwachsen (Fig 8, *2*); offenbar können sie auf diese Weise einerseits am energischesten die Hülle von Nährwasser, welches an ersteren durch Adhäsion festgehalten wird, ausnützen, anderseits durch ihre sauren Ausscheidungen (Vers 64) direkt auf die Bodenteilchen chemisch einwirken und

denselben durch Löslichmachen mancher Bestandteile Substanzen entziehen.

60. Vers. Untersuche die in einer Nährstofflösung (einfacher in Leitungswasser) erwachsenen Wurzeln.

Im Wasser werden sehr häufig gar keine oder nur ganz kurze Wurzelhaare ausgebildet, da im leicht beweglichen Wasser ohnehin die Nährstoffe viel leichter und reichlicher zuströmen als im Erdboden.

61. Vers. Taucht man eine Keimpflanze von *Phaseolus* bis zu den Keimblättern in eine verdünnte Lösung von übermangansaurem Kali, so färben sich nur die Partien der Wurzel infolge Oxydation ihrer organischen Zellbestandteile in Berührung mit dem Kalisalze bräunlich, während der unter den Keimblättern befindliche Stengelteil ungefärbt bleibt. (Nach Wiesner.)

Daraus folgt, daß das Hautgewebe der Wurzel eine andere Aufgabe als die Stengeloberhaut erfüllt; es nimmt eben Salze (im Versuche Kaliumpermanganat) aus der Umgebung auf: es fungiert als „Absorptionsgewebe".

Die „mechanischen" Leistungen der Wurzel.

Die Wurzeln dienen außer zur Nahrungsaufnahme auch noch zur Befestigung der Pflanze im Boden. Daß diese meist eine sehr ausgiebige ist, lehrt jeder Versuch, eine Pflanze auszureißen. Es ist ja auch begreiflich, daß namentlich Bäume fest im Boden wurzeln müssen, um der Gewalt der Stürme widerstehen zu können. Die eigentlichen Befestigungsorgane der Wurzeln, namentlich auch bei allen krautigen Pflanzen, sind die an den Bodenteilchen festgewachsenen Wurzelhaare, welche die Pflanze im Boden „vertäuen". Beim Ausreißen einer Pflanze werden diese feinen Gebilde selbstverständlich zerrissen. Außerdem kennt man noch andere Festigungseinrichtungen, welche namentlich an Holzgewächsen auftreten.

Nach der neuesten Anschauung besitzen zahlreiche dikotyle Pflanzen (namentlich diejenigen, welche keine Pfahlwurzel ausbilden) zweierlei Wurzeln: die einen, welche das „mechanische" (Vers. 63) System zu größerer Ausbildung bringen, dienen hauptsächlich der Befestigung im Boden, während die anderen als Absorptionswurzeln vorwiegend im Dienste der Nahrungsaufnahme stehen. (Tschirch.)

Manche Pflanzenwurzeln (zum Beispiel die Wurzeln von im Wasser gezogenen Hyazinthen oder 2–3 Monate alte Wurzeln von gelben Rüben zeigen das deutlich) verkürzen sich im Laufe ihrer Entwicklung, was sich durch Faltenbildung am Grunde zu erkennen gibt. Da sie in der Nähe der Wurzelspitze im Boden festgewachsen sind, wird auf diese Weise die Befestigung noch mehr verstärkt; ja manche Pflanzen, wie zum Beispiel die sich wieder bewurzelnden Enden von Brombeerschößlingen (Wiesner) oder Kleepflanzen, werden dadurch sogar ein Stück in die Erde hineingezogen (sie „kriechen ein"):

62. Vers. (Fig. 9.) Grabe Gladiolen- oder Krokuspflanzen, nachdem sie junge Knollen angelegt haben (Ende Mai), aus und untersuche sie. Der alte Knollen (*K* rechts) ist zur Seite gedrängt worden und die langen „Zugwurzeln“ (*Z*) haben sich am Grunde unter Faltenbildung zusammengezogen; da ihr Spitzenende an den Bodenteilchen befestigt ist, haben sie derart den jungen Knollen, der sich oben auf dem alten gebildet hatte, in das ursprüngliche Niveau des letzteren herabgezogen.

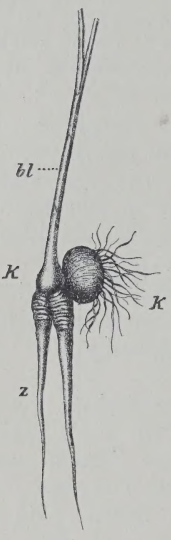


Fig. 9.

Die Pflanzenwurzeln erleiden durch die Bewegung der Stengel im Winde oder bei obigem Vorgange einen mitunter sehr starken Zug, sie werden „auf Zugfestigkeit in Anspruch genommen“.

63. Vers. Manche Wurzeln lassen sich mit der Hand ziemlich beträchtlich dehnen und kehren elastisch auf die ursprüngliche Länge zurück (Gras-, *Carex*-Wurzeln).

Das die Festigkeit bedingende („mechanische“) Gewebe findet sich in der Wurzel als zentraler Strang ausgebildet.

Wir können uns jetzt wohl schon eine Vorstellung von der Ernährungstätigkeit der Wurzelhaare machen. Ihr Zellsaft ist höher konzentriert als die verdünnten Lösungen des Nährwassers (auch unsere Nährstofflösung hat nur geringe Konzentration); daher muß von außen Nährwasser osmotisch in die Wurzel eindringen. Weil nun das Protoplasma semipermeabel ist (Seite 27), so läßt es im allgemeinen aus dem Zellsafte keine Substanz austreten, solange es am Leben ist.

Wurzelausscheidungen.

64. Vers. Der Boden einer flachen Schale wird mit einer doppelten Lage grauen Löschpapieres bedeckt und darüber eine Lage blaues Lakmuspapier gebracht und wohl angefeuchtet. Darauf legen wir Samen von Kresse und bedecken die Schale mit einer Glasplatte.

Nach Entwicklung der Wurzeln ist das blaue Lakmuspapier an den von den Wurzelenden berührten Stellen gerötet: Die Wurzeln scheiden sauer reagierende Substanzen aus, aber in nur sehr geringer Menge. Diese einen Substanzverlust bedeutende Ausscheidung wird aber dazu verwendet, um manche sonst im Wasser unlösliche Bodensalze in Lösung überzuführen, welche so der Pflanze wieder zugute kommen und wobei die innige Verwachsung der Bodenteilchen mit den Wurzelhaaren von Vorteil ist.

65. Vers. Schlage ein Stückchen Kalkfelsen, auf dem eine Krustenflechte wächst, herab und lege es in ziemlich starke

Salzsäure, welche den Kalk auflöst. Früher im Gesteine verborgen, kommt jetzt der ganze Thallus (Flechtenkörper) zum Vorscheine.

Durch solche Ausscheidungen, welche von langgestreckten Zellen ausgehen, die an Stelle von Wurzeln dienen, können die Steinflechten selbst in Quarzgestein eindringen; nach ihrem Absterben entstehen auf diese Weise feine Röhrchen im Gesteine, welche Angriffspunkte für die Verwitterung abgeben und sich immer mehr erweiternd und mit den verwesten Überresten der Flechten, später von Moosen sich füllend, endlich das Gestein auch für höhere Pflanzen zur Ansiedlung geeignet machen.

Aufgaben.

1. Bestimme die Zunahme der Länge, des Durchmessers nach verschiedenen Richtungen sowie des Umfanges der in Vers. 37 benützten Holzstücke. Drücke diese Zunahme im prozentischen Verhältnisse zur ursprünglichen Ausdehnung aus.

2. Ermittle die Menge des aufgenommenen (imbibierten) Wassers dieser Hölzer durch Abwägen der trockenen und der nach 24stündigem Einquellen wieder abgetrockneten Holzstücke.

3. Wiederhole diese Versuche mit einem in der Apotheke käuflichen „Laminariastifte".

4. Untersuche das osmotische Verhalten der verschiedenen im Erdboden oder in der Pflanzenasche vorkommenden Salze in geänderten Konzentrationsverhältnissen. Bestimme jedesmal die osmotische Wirksamkeit dieser Stoffe durch Beobachtung der in gleichen Zeiten (und bei gleicher Temperatur) erfolgenden Steighöhe im engen Glasrohre des Vers. 38.

5. Wie verhalten sich die Steighöhen in gleichen Zeiten (bei Anwendung desselben Stoffes), wenn die Temperatur steigt oder sinkt? (Benütze einmal 30° C warmes Wasser, das anderemal durch Eisstücke gekühltes Wasser als Außenflüssigkeit (vgl. Vers. 38).

6. Untersuche das kapillare Aufsteigen von Wasser in Sandboden. (Vers. 54.)

7. Prüfe, ob ein Boden, in welchem eine (Topf-) Pflanze welkt, noch Wasser enthält (S. 30); wieviel? (Vers. 3, 4.)

8. Warum welkt eine aus dem Boden gerissene und unmittelbar danach wieder eingesetzte Pflanze anfangs meist sehr stark? (S. 32.)

Transpiration und Leitung des Nährwassers.

Es obliegt uns jetzt die Aufgabe, das Schicksal des Nährwassers in der Pflanze und seine Bedeutung für diese zu verfolgen und kennen zu lernen.

Transpiration:

66. Vers. Wir bringen eine Topfpflanze unter einen Glassturz, der auf einer Glasplatte ruht, nachdem wir durch Umhüllen des ganzen Topfes, namentlich auch der freien Erdoberfläche desselben, mit einer mehrfachen Lage Stanniol, Guttaperchapapier oder Billrothbattist die Wasserdampfabgabe seitens der Topferde verhindert haben. Als Gegenversuch bringen wir einen Topf ohne Pflanze, ebenso vorbereitet, unter den Sturz. Statt einer bewurzelten Topfpflanze können wir auch einen gut beblätterten Zweig benützen, dessen unteres Ende in ein Gefäß mit Wasser taucht. Über das Wasser schichten wir 1—2 *cm* hoch Öl, um die Verdunstung des Wassers selbst zu verhüten. Zur Kontrolle stellen wir unter einen zweiten Sturz (ein großes, weites Einsiedeglas kann eventuell dazu benützt werden) ein ebensolches Gefäß mit Wasser und Ölschicht, jedoch ohne Zweig. — Die ganze Vorrichtung bringt man vorteilhaft zuerst an einen kühleren Ort, dann etwa an die Sonne.

Die erstere Glasglocke beschlägt innen sehr bald mit Wassertröpfchen: Die Pflanze gibt Wasserdampf an die umgebende Atmosphäre ab.

Es ist auch nicht schwer, die Organe der Wasserabgabe zu suchen und zu finden. Nach Analogie mit den Vorgängen physikalischer Verdunstung ist zu vermuten, daß gerade diejenigen Teile der Pflanze, welche die größte Oberfläche besitzen, auch am meisten für die Abgabe dampfförmigen Wassers geeignet sein dürften.

67. Vers. Man bringt unter ein umgekehrtes Glas einzelne Blätter, deren Blattstiele an der Trennungsfläche mit Klebwachs verschlossen worden sind, unter eine zweite Glocke (oder ein umgekehrtes Glas) eine annähernd gleiche Gewichtsmenge von ebenso verklebten Stengelstücken.

Aus der größeren Menge des unter gleichen äußeren Umständen gebildeten Wasserbeschlages erkennt man leicht, daß

tatsächlich die Blätter als die wichtigsten Organe der Abgabe von Wasserdampf zu betrachten sind.

Man nennt die Abgabe von Wasserdampf seitens der Pflanze Transpiration. Es ist in manchen Fällen wichtig, ihre Größe, d. h. die Menge des von einem bestimmten Flächenstücke (oder von einer bestimmten Gewichtsmenge) abgegebenen Wassers zu ermitteln. Wir gehen dabei von der Erwägung aus, daß transpirierende Pflanzenteile leichter werden müssen. Methoden zu ihrer Bestimmung.

68. Vers. 1. Wir können eine wie in Vers. 66 vorbereitete Topfpflanze, die vorher reichlich begossen wurde, von Zeit zu Zeit abwägen, um ihren Wasserverlust zu bestimmen. Die Wasserabgabe pro Stunde wird aber durch die Transpiration aller Blattflächen bedingt. Zu Vergleichszwecken rechnen wir sie auf die Flächeneinheit (etwa 1 dm^2) um und müssen daher die gesamte Oberfläche aller Blätter suchen.

Wir können zum Beispiel nach Beendigung des Versuches den Umriß aller Blätter auf ein möglichst gleichartiges Papier abzeichnen (oder auf photographisches Papier im Kopierrahmen kopieren) und sodann ausschneiden. Aus dem Gewichte eines dm^2 dieses Papiers und dem Gesamtgewichte aller ausgeschnittenen Flächenstücke berechnen wir leicht die Größe der Blattoberflächen (durch Verdopplung dieser Zahl ergibt sich die Summe aus oberen und unteren Blattflächen). Oder wir zeichnen jedes Blatt für sich auf sogenanntes Millimeterpapier (das ist karriertes Papier, dessen Quadrate eine Seitenlänge von 1 mm besitzen). Hierauf zählen wir für jede Blattfläche die Anzahl der von ihr bedeckten Quadrate (also mm^2) ab, wobei wir die Bruchteile der Quadrate immer zu ganzen mm^2 zu ergänzen suchen.

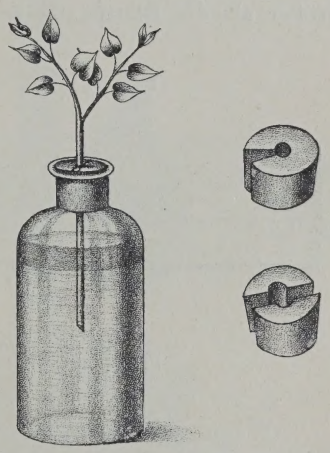


Fig. 10.

2. Um mit beblätterten Zweigen Transpirationsversuche machen zu können, befestigt man diese in Korken, welche entweder eine passende Durchbohrung besitzen oder nach Art des oberen oder des unteren Korkes in Fig. 10 gespalten sind. In letzteren Fällen wird der Zweig zwischen die Korkhälften festgeklemmt, nachdem man diese mit Fett bestrichen hat. Der Pfropfen wird dann in den Hals eines Glasgefäßes eingeschoben, wo er sehr fest sitzen muß. Die Fugen zwischen Glaswand und Kork sowie zwischen diesem und dem Zweige werden mit Klebwachs luftdicht überzogen, die Öffnung, durch

welche der Zweig gesteckt wird, außerdem vorher noch, wenn nötig, mit Watte verstopft.

Einfacher ist es, statt aller dieser Verschlüsse, welche verhindern sollen, daß auch das Wasser des Gefäßes direkt mitverdunstet, auf die Wasseroberfläche etwa 1—2 *cm* hoch vorsichtig Öl aufzuschichten, nachdem der Zweig in das Wasser eingesetzt worden ist.

Die Zweige oder Blätter, deren Transpiration bestimmt werden soll, können auch ganz einfach in eine mit Wasser gefüllte Eprouvette gesteckt werden; über das Wasser wird Öl geschichtet und einerseits der Zweig an der Eprouvette mit Draht befestigt, anderseits diese auf gleiche Weise an dem Wagebalken aufgehängt. Von Zeit zu Zeit wägt man die ganze Vorrichtung; die Gewichtsabnahme zeigt die Menge des transpirierten Wassers an. Der Gegenversuch (ohne Zweige, nur mit den Gefäßen allein) ergibt keine Gewichtsdifferenz.

Stets müssen abgeriebene Rindenstellen oder die Ansatzstellen abgefallener Blätter mit Klebwachs verkittet werden.

3. Wir wollen noch eine einfache Methode mittelst Kobaltpapiers (vgl. Vers. 25, 1) kennen lernen, um die Abgabe von Wasserdampf durch die Blätter anschaulich zu machen. (Stahl.)

Ein Blatt einer Pflanze wird abgeschnitten und mit der Oberseite auf ein trockenes Stück Tuch gelegt, welches größer als die Blattfläche ist. Auf das Blatt bringen wir einen Streifen Kobaltpapier, das wir aus dem Exsikkator genommen und über einer Streichholzflamme frisch getrocknet haben. Das Ganze bedecken wir mit einer getrockneten (etwas erwärmten) Glasplatte, welche wir durch Beschweren an das Papier und das Blatt anpressen. Der Blattstiel muß über den Rand der Glasplatte herausschauen.

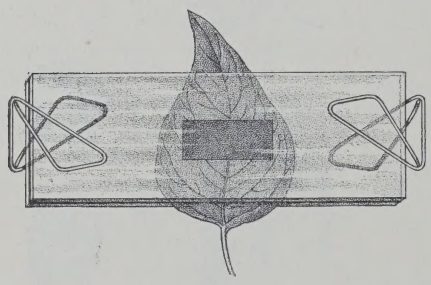


Fig. 11.

Wenn wir den Versuch mit an der Pflanze befindlichen Blättern machen wollen, so benützen wir der Leichtigkeit halber statt des Tuches und der Glasplatte zwei Glimmerplättchen, welche wir mit kleinen federnden Drahtklammern festhalten (Fig. 11).

Als Gegenversuch legen wir einen Papierstreifen ohne Blatt zwischen die Plättchen. Nach einiger Zeit wird das blaue Papier rot durch Aufnahme von Wasserdampf, welcher nur aus dem Blatte stammen kann (der Kontrollstreifen bleibt viel länger blau). (Selbstverständlich läßt sich diese Versuchsanordnung

auch bei abgetrennten Blättern benützen, was für Demonstrationszwecke sehr geeignet ist.)

4. Man kann auch im Vers. 66 zur quantitativen, das heißt zahlenmäßigen Bestimmung der Transpirationsgröße gelangen, wenn man unter den Sturz ein Schälchen mit trockenem Chlorkalzium, dessen Gewicht man vor Beginn des Versuches festgestellt hat, bringt. Dieses Salz nimmt begierig den ausgeschiedenen Wasserdampf auf (vgl. Vers. 25, 1) und wird dadurch schwerer. Durch einen Gegenversuch haben wir uns überzeugt, daß in dem Luftraume des Sturzes, ohne Gegenwart der Versuchspflanze, das Chlorkalzium nur wenig an Gewicht zunimmt. In diesem Falle muß aber der Sturz luftdicht mit seinem eben abgeschliffenen Rande auf eine Glasplatte gestellt werden, nachdem der Rand etwas eingefettet worden ist. Die Fuge zwischen Sturz und Glasplatte wird (mittelst eines heißgemachten Drahtes) mit Klebwachs verstrichen.

5. Um den Gewichtsverlust transpirierender Zweige schon in kurzer Zeit (halbstündig) auf größere Entfernungen sichtbar zu machen, beziehungsweise selbstregistrierend aufzuschreiben, benützen wir folgenden Apparat (Fig. 12).

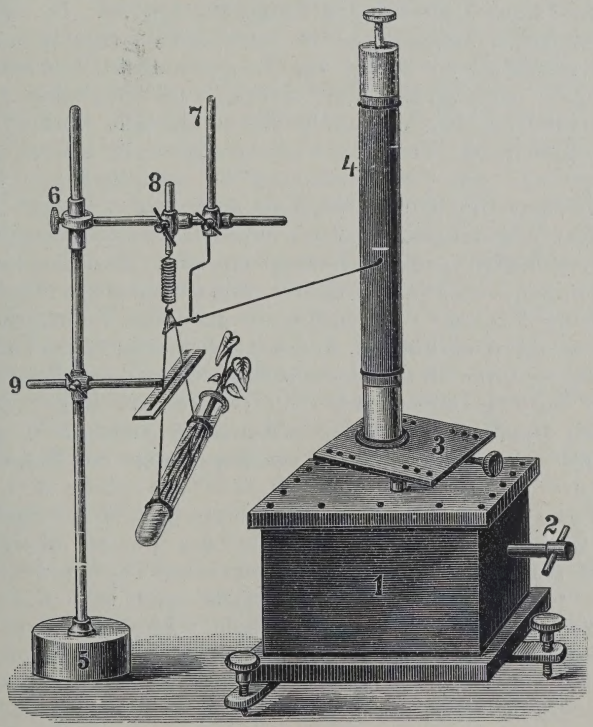


Fig. 12.

An einer Spiralfeder (bei *8*), welche am Querarme (*6*) eines Trägers (*5*) befestigt ist, hängt an zwei Schnüren geneigt eine Eprouvette, welche, mit Wasser gefüllt, die Versuchspflanze trägt und durch eine Ölschicht nach oben abgeschlossen ist. (Der Arm *9* dient nur als Führung, um ein Pendeln der Eprouvette zu verhüten.) Die zwei Schnüre hängen nicht direkt an der Feder, sondern sind mit ihr durch ein dreieckiges Metallplättchen verbunden, welches eine lange bewegliche Nadel trägt. Wenn der Zweig durch Transpirieren leichter wird, wird die Eprouvette etwas gehoben. Dadurch sinkt die Spitze der Nadel, welche auf der Schneide des Trägers *7* als Drehungskante aufruht, nach abwärts. Stellt man hinter der Nadel, die durch einen angesteckten Strohhalm noch verlängert werden kann, einen Gradbogen auf, so kann man die Stellungsänderung, welche den Transpirationsverlust anzeigt, ablesen.

Will man die Zeigerbewegung selbsttätig aufschreiben, so läßt man die Nadelspitze, an welche man ein gebogenes Stückchen steifes Papier angeklebt hat, auf eine mit einer Kerze berußte, am Metallzylinder *4* befestigte Papierfläche schreiben. Dieser Zylinder ist exzentrisch an einer Platte *3* befestigt, welche auf der Achse eines Uhrwerkes *1* festgeschraubt ist. Da diese, mit dem Schlüssel *2* aufgezogen, in einer halben Stunde eine Umdrehung ausführt, so macht der Zeiger halbstündig seine Aufzeichnungen. Die ganze Vorrichtung muß möglichst zitterfrei (zum Beispiel auf einem Wandbrette) aufgestellt werden.

Vergleichende Versuche (vgl. Aufgabe 1) haben ergeben, daß nicht nur die Transpirationsgröße verschiedener Pflanzen unter gleichen Umständen, sondern auch die derselben Pflanze, wenn diese abgeänderten äußeren Verhältnissen ausgesetzt wird, einen verschieden großen Betrag erreicht. Zunächst scheinen alle diejenigen Verhältnisse, welche rein physikalisch die Wasserverdunstung fördern, von vornherein auch die Transpiration der Pflanzen steigern zu können. Indessen darf man diese Vermutung nicht ohne weiteres für selbstverständlich halten, es wäre immerhin möglich, daß wir einen oder den anderen vielleicht noch unbekannten Umstand bei unserer Annahme außer acht gelassen haben; man wird daher gut tun, das Experiment zur Entscheidung anzurufen.

Beeinflußung durch äußere Verhältnisse.

69. Vers. Ein beblätterter Weidenzweig (*Salix fragilis*) wird in ein Glas mit Wasser eingestellt, das mit Öl überschichtet wird. Das Glas wird auf einen umgekehrten Topf und das Ganze auf eine flache (Ton-) Schüssel gestellt und mit einem Sturze (zum Beispiel aus Zinkblech) überdeckt. (Ähnlich wie in Fig. 1.)

Nun wägt man das Glas mit dem Weidenzweige und bringt beides unter den Sturz. Den Zwischenraum zwischen diesem und der Tonschüssel füllt man mit Sand, den man vorher durch Ausbreiten möglichst getrocknet hat. Unter den Sturz stellt man

vorteilhaft noch eine flache Schale mit Chlorkalzium. Nach etwa einer oder mehreren Stunden wägt man abermals, um den Transpirationsverlust des Zweiges zu finden.

Sodann wird der Sand (und das Chlorkalziumgefäß) entfernt und die Schüssel mit Wasser gefüllt. Eine abermalige Gewichtsbestimmung vor Beginn des Versuches und nach Verlauf derselben Zeit wie oben gibt die im zweiten Falle, also in feuchterer Luft abgegebene Wassermenge an:

Die Transpiration erreicht in trockener Luft einen höheren Betrag als in feuchter.

70. Vers. Man richtet einen Weidenzweig vor wie im vorigen Versuche, bestimmt aber die Transpirationsverluste einmal bei Zimmerwärme, einmal bei höherer Temperatur (etwa 35° C). Zu diesem Zwecke kann man die Schüssel auf den zuerst ungeheizten, später geheizten Ofen stellen. Den Sturz kann man am einfachsten weglassen, ebenso entfernt man aus der Schüssel das Wasser (oder den Sand). Wenn man den Sturz beibehält, so schließt man ihn mit Sand ab und bringt noch ein Chlorkalziumgefäß darunter.

Wir stellen die Tatsache fest, daß höhere Lufttemperatur die Verdunstung steigert.

71. Vers. Ein wie vorhin vorgerichteter Zweig einer Bruchweide oder einer Hortensie (nach Wiesner) wird hinter geschlossenem Fenster an einem hellen Orte aufgestellt und seine Verdunstung bestimmt. Hierauf wird während einer gleichen Zeitdauer Fenster und Tür geöffnet, so daß ein Luftzug entsteht:

Windbewegung beschleunigt bei vielen Pflanzen die Transpiration.

72. Vers. Wir schneiden ein Blatt der bekannten großblättrigen Topfpflanze *Aspidistra elatior* ab, welche in einer schlechtbeleuchteten Zimmerecke mehrere Stunden gestanden hat, und machen die Kobaltprobe (an der Blattspitze).

Hierauf bringen wir das mit dem Stiele in Wasser gestellte Blatt ein paar Stunden in direktes Sonnenlicht und unterwerfen es abermals der Untersuchung. — Oder wir lassen einige Maispflänzchen mit der Basis in eine Eprouvette mit Wasser eintauchen und befestigen sie mittelst Drahtes am Rande des Proberöhrchens; über das Wasser schichten wir Öl und hängen das Ganze mit einem Drahthaken an einen Wagebalken. Zunächst bestimmen wir (hinter geschlossenem Fenster) den Gewichtsverlust im Dunkeln, sodann in voller Beleuchtung. (Nach Wiesner.)

Es zeigt sich, daß die Transpiration im hellen Lichte größer ist als im schwachen Lichte oder im Dunkeln.

Ihr Zusammenhang mit dem anatomischen Bau der Organe.

Das verschiedene Aussehen der meisten Blätter an der Ober- und an der Unterseite bringt uns auf die Vermutung, es könnten diese Blattpartien an der Transpiration in verschiedenem Maße beteiligt sein. Um das zu prüfen, wollen wir uns abermals der Kobaltmethode bedienen.

73. Vers. Man bringt je einen blauen Streifen Kobaltpapier auf die Ober-, respektive Unterseite des zu prüfenden Blattes [*Phaseolus*, Flieder, Schwarzpappel, *Ficus*, Zyklamen und andere] (es ist gut, die Blätter vorher etwa 12 Stunden unter einem Sturze zu halten), bedeckt es mit je einem Glimmerplättchen (eventuell Glasplättchen) und befestigt diese mittelst kleiner federnder Drahtklammern (Fig. 11) am Blatte. Der Versuch muß sehr schnell ausgeführt werden, damit nicht die Luftfeuchtigkeit allein schon das Papier verfärbt.

Das Papier beginnt sich meistens zuerst auf der Unterseite — öfters schon nach einigen Sekunden — (viel später erst auf der Oberseite) zu röten. Die Blattunterseiten transpirieren auffallend stärker als die Oberseiten der meisten Blätter. Hier müssen also besondere Einrichtungen vorhanden sein, welche dem Wasserdampfe den Austritt gestatten.

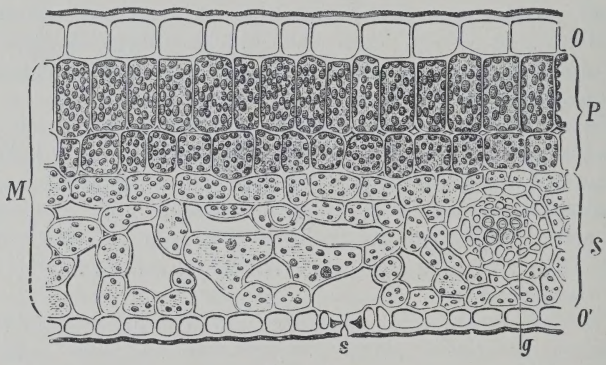


Fig. 13.
Querschnitt durch ein Blatt von *Cyclamen europaeum*. — Vergr. 300.
Nach Wiesner.

Tatsächlich erkennen wir bei der mikroskopischen Untersuchung, daß die Unterseite ausschließlich oder vorwiegend kleine Öffnungen aufweist, sogenannte Spaltöffnungen (Fig. 13, *s* und 14), welche zwischen den sie begrenzenden Schließzellen (Fig. 14, *s*) hindurch in das Blatt hineinführen.

Sind die Spaltöffnungen tatsächlich die Stellen, aus denen der Wasserdampf bei der Transpiration austritt, so muß die letztere vermindert werden, wenn man die Blattunterseite mit einer Schicht einer passenden Substanz überzieht, wodurch die Spaltöffnungen verstopft werden.

74. Vers. Man ermittelt durch Wägung den Transpirationsverlust an einer beblätterten Pflanze (Zweig oder Einzelblatt) und dann noch einmal, nachdem die Blattunterseiten mit Vaselin überzogen worden sind.

Der Ausfall des Versuches entspricht unserer Erwartung: Die Spaltöffnungen sind die Orte der Wasserdampfabgabe an Blättern. Auch krautige Stengel und die noch mit zarter Oberhaut bedeckten heurigen Triebe von Holzgewächsen entbehren nicht der Spaltöffnungen. Wenn aber mit Eintritt des Dickenwachstums der Zweige und Stämme diese sich mit einer derberen mehrschichtigen Korkhaut bedecken, dann entstehen in diesem „Periderm“ als Ersatz der Spaltöffnungen die sogenannten Rindenporen (= Lentizellen).

Das Innere des Blattes besteht — abgesehen von den „Nerven“ (vgl. Aufgabe 17) — aus dünnwandigen Zellen von verschiedener polyedrischer Form. Unter der Oberhaut (*O*) der Blattoberseite stehen diese grünen Zellen meist dicht aneinander, unter jener (*O'*) der Unterseite des Blattes aber wird das Gewebe locker, und zwischen den Zellen finden sich unregelmäßig gestaltete

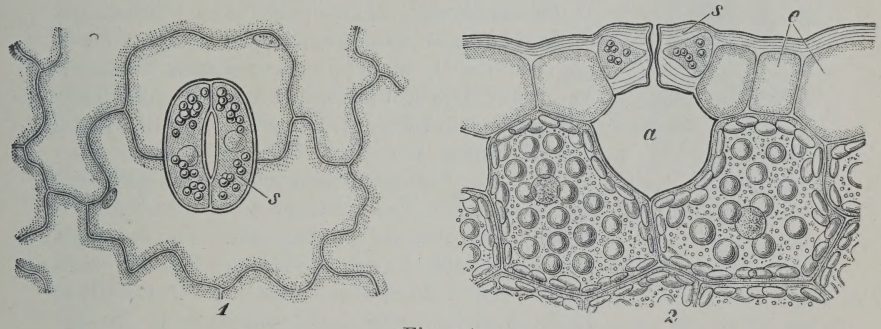


Fig. 14.

Spaltöffnungsapparat des Laubblattes einer angiospermen Pflanze: *1.* Von der Fläche. — *2.* Im Querschnitte. — *e* Oberhautzellen. — Vergr. 400. Nach Reinke.

Hohlräume (Zwischenzellräume = Interzellularen), welche untereinander in Verbindung stehen. Die Interzellularen führen bis unter die Spaltöffnungen (Fig. 14, *2*, *a*) und stehen so mit der atmosphärischen Luft in Kommunikation, wobei wir uns die Spaltöffnungen mit den sie begrenzenden Schließzellen (Fig. 14, *s*) gewissermaßen als die äußeren Ventilationsöffnungen der dem Gaswechsel der Zellen dienenden Ventilationsschläuche (der Interzellularen) vorstellen können.

Diese Deutung des anatomischen Befundes muß aber erst durch den Versuch seine Bestätigung erfahren.

75. Vers. Wenn man die Blattspreite von *Arum maculatum* oder *Caltha palustris* (*Primula sinensis*, *Ranunculus Ficaria*) in Wasser eintaucht und den Stiel in den Mund nimmt, so kann man bei kräftigem Durchblasen im Wasser Luftblasen vom Blatte sich ablösen sehen.

Man kann auch umgekehrt aus dem Stiele Luft aussaugen bei folgender Anordnung: Eines der genannten Blätter wird mit dem Stiele in einem Trichter (Fig. 15) luftdicht befestigt, indem man geschmolzene Gelatine zwischen Trichterwand und Stiel eingießt. Das Trichterrohr wird bis etwas über das Blattstielende mit Wasser gefüllt und (der leichteren Handhabung wegen) durch einen Schlauch mit einem kurzen Glasrohre als Mundstück in Verbindung gesetzt. Wird an diesem gesaugt (eventuell mit einer Luftpumpe), so steigen im Wasser Luftblasen auf. (Devaux nach Darwin.)

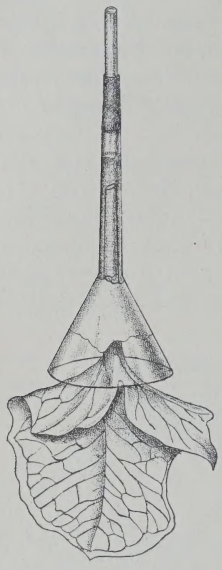


Fig. 15
z. T. nach Darwin.

76. Vers. (Fig. 16.) Ein etwa 10 *cm* langes Zweigstück eines Holzgewächses (*Sambucus* oder *Cornus sanguinea*) von etwa 1 *cm* Dicke wird mittelst gut passenden Kautschukschlauches auf dem kürzeren Schenkel eines sogenannten U-Rohres befestigt (der Schlauch kann mit Draht umwickelt und an das Rohr festgebunden werden). Die obere Schnittfläche des Zweiges wird mit Siegellack wohl verkittet. Die Vorrichtung wird in ein größeres Gefäß gestellt, das bis über die obere Schnittfläche mit Wasser gefüllt ist. In den längeren Schenkel des U-Rohres gießt man durch einen Trichter vorsichtig Quecksilber nach, welches die Luft unter dem Zweigstücke zusammenpreßt; wenn das Quecksilber im längeren Schenkel etwa 20 *cm* höher als im kürzeren steht, so sieht man im Wasser aus den Lentizellen Luftblasen austreten.

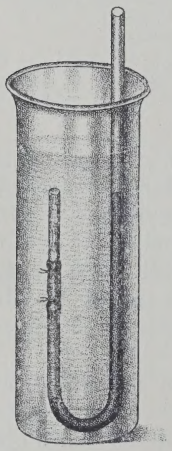


Fig. 16.

Die Spaltöffnungen und Lentizellen stehen demnach mit dem Interzellularsystem der Pflanze in offener Verbindung.

Bevor aber der Wasserdampf durch eine der Ausfuhröffnungen in die Atmosphäre gelangt, muß er aus einer Zelle in die Interzellularen übergetreten sein: das Wasser, welches die Zellen, speziell auch deren Membranen, durchtränkt, wird da, wo eine solche Zellhaut an die Interzellularenluft angrenzt, offenbar verdunsten müssen und gelangt so als Wasserdampf in die Interzellularen. In diesen geht also die eigentliche Verdunstung (interzellulare Transpiration,

Wiesner) vor sich; die Spaltöffnungen führen nur das bereits transpirierte Wasser aus dem Blattinnern an die Luft heraus; erst diesen letzteren Vorgang, welchen wir die stomatäre Transpiration (Höhnel) nennen, können wir durch die Verfärbung des Kobaltpapiers verfolgen.

Letztere Methode hat uns auch gezeigt, daß die Verdunstung durch das geschlossene Hautgewebe des Blattes hindurch verhältnismäßig geringe Werte erreicht (epidermoidale Transpiration, Wiesner). Denn in diesem Falle bieten die nach außen verdickten Zellwände der Oberhaut (Epidermis), welche mit einem der Korksubstanz ähnlichen Stoffe imprägniert und außen von einem ununterbrochenen Häutchen (Kutikula) einer fettartigen Substanz überzogen sind, dem Durchtritte des Wassers einen großen Widerstand (Fig. 14, *e*).

Die ungemeine Kleinheit der Spaltöffnungen (ihr Durchmesser beträgt mitunter nur einige Zehntausendstel eines *mm*! Die Öffnung selbst ist zum Beispiel bei der Sonnenrose nur 0·0001 mm^2 groß) wird durch ihre große Anzahl ausgeglichen. So zählt man auf einem Blatte der Sonnenrose etwa 13 Millionen derselben; 1 mm^2 enthält durchschnittlich 100—200, bei manchen Blättern aber bis 700 Spaltöffnungen. Physikalische Versuche haben ergeben, daß diese Kleinheit der Spaltöffnungen einen viel rascheren Gasaustausch zwischen Blatt und Atmosphäre ermöglicht, als wenn statt der einzelnen mikroskopisch kleinen Poren eine einzige entsprechend große Öffnung vorhanden wäre. Die geringe Größe der Spaltöffnungen befördert somit die Transpiration. (Brown und Escombes.) Um die Ausgiebigkeit der letzteren anschaulich zu machen, vergleichen wir die Transpirationsgröße eines stark verdunstenden Blattes (*Helianthus* und andere), auf 1 m^2 umgerechnet, mit der Verdunstung einer freien Wasserfläche, auf dieselbe Flächeneinheit bezogen.

77. Vers. Eine flache, mit Wasser gefüllte Schüssel wird unter denselben Verhältnissen (an demselben Standorte) wie eine Pflanze, deren Verdunstung wir bestimmen, aufgestellt und gleichzeitig mit der Pflanze ihr Gewichtsverlust bestimmt. Aus dem Wasserverluste der Schüssel, deren wasserbedeckte Oberfläche nach der Formel $r^2 \pi$ gefunden wird, läßt sich leicht der Gewichtsverlust für eine Wasserfläche von 1 m^2 berechnen.

Welken; Transpirationsschutz.

Wenn eine Pflanze mehr Wasser verdunstet, als sie ersetzen kann, so sinkt der Turgor derselben; die Folge davon ist das Welken der betreffenden Pflanze. Übermäßige Transpiration und Welkung bringen aber der Pflanze verschiedene Gefahren (vgl. Vers. 123 und Kapitel „Wachstum"), und wir dürfen vermuten, daß letztere sich auf diese oder jene Weise dagegen zu schützen sucht. Insbesondere scheint das die Pflanzenorgane bedeckende „Hautgewebe" einen solchen Schutz vorzustellen.

78. Vers. 1. Wir bestimmen den Gewichtsverlust einer Kartoffelknolle für einen bestimmten Zeitraum; hierauf wiederholen wir für dieselbe Zeitdauer den Versuch mit derselben, aber dünngeschälten Kartoffel.

Oder wir bringen auf die eine Wagschale (eine oder mehrere) ganze Knollen, auf die andere eine möglichst gleiche Gewichtsmenge dünngeschälter Knollen. — Die geschälten Knollen werden viel rascher leichter werden.

2. Bestimme die Transpirationsgröße von Lindenblättern und *Ficus*- oder Efeublättern, auf dieselbe Fläche bezogen; oder benütze die Kobaltmethode zur Ermittlung der Schnelligkeit der Verfärbung in gleichen Zeiten.

3. Ein jüngeres Blatt des Huflattichs (oder von Quitten), das noch ganz von einem Haarfilze überzogen ist, wird nach der Kobaltmethode an der Unterseite geprüft; wiederhole diesen Versuch, nachdem durch sanftes Reiben mit dem Finger der sich leicht ablösende Haarüberzug weggewischt worden ist.

Das Versuchsergebnis zeigt, daß das braune, dünne, die Kartoffelknolle bedeckende Periderm, das relativ mächtige Oberhautgewebe und die dasselbe als gleichmäßiges Häutchen überziehende Kutikula derber, immergrüner Blätter, ferner dichte Haarüberzüge demnach als Schutzmittel gegen übermäßige Transpiration betrachtet werden können.

Da die Transpiration durch Erwärmung gesteigert wird, so können wir Haarüberzüge, Faltungen und Rollungen der Blätter und Steilstellung derselben als Mittel betrachten, die Erhitzung durch die auffallenden Sonnenstrahlen zu verringern. Und wenn wir noch dazu gerade in heißen, trockenen Gebieten derartige Ausbildungen namentlich an den Blättern beobachten, so werden wir wohl die Annahme machen dürfen, hierin Einrichtungen des Transpirationsschutzes zu erblicken, welche wir auch in unseren Vegetationsgebieten, und zwar namentlich an jungen Blättern, beobachten können, wenn auch in geringerem Maße als an Steppen- oder Felsenpflanzen. Wir nennen solche Pflanzen Xerophyten, da sie sich auf diese oder jene Weise an die Trockenheit ihres Standortes angepaßt haben, sei es an den geringen Feuchtigkeitsgehalt der Luft oder an den Wassermangel im Boden, der kein absoluter zu sein braucht; es ist uns bekannt (Vers. 54, 2 und S. 31), daß die Bodenteilchen mit großer Kraft noch ziemliche Wassermengen zurückhalten können, so daß sich ein solcher wasserhältiger Boden gleichwohl für die Pflanze in physiologischer Hinsicht als trockener Boden verhält.

Wir können es auch als ein die Transpiration herabsetzendes Mittel auffassen, wenn die Größe der verdunstenden Blattfläche verringert wird; viele Pflanzen trockener Standorte besitzen nur kleine, schuppenförmige, nadelartige oder gar keine Blätter, oder diese verringern im Verhältnisse zu ihrer Masse die Ober-

fläche dadurch, daß sie dick, „fleischig“ werden. Dies kommt so zustande, daß eigene Speichergewebe für Wasser auftreten, in welchen eben ein größerer Wasservorrat angesammelt und häufig dadurch langsam abgegeben wird, daß die Zellen von einem Schleime erfüllt sind, der das Wasser mit großer Kraft festhält. In diesem Falle, bei den sogenannten Sukkulenten, tritt auch noch eine derbe Kutikula als weiterer Verdunstungsschutz hinzu. Das Extrem in dieser Hinsicht stellen die mit blattlosen, fleischigen Stämmen versehenen Kakteen vor.

79. Vers. 1. Mauerpfeffer oder Hauswurz werden aus dem Boden genommen und, ohne sie zu begießen, frei liegen gelassen. Lege daneben eine krautige Pflanze. Suche ihren Wasserverlust zu ermitteln.

2. Wiederhole den Versuch mit einem Kaktusgewächse.

Solche Pflanzen können, wie der Versuch erklärlich macht, an steinig-sonnigen Stellen und in den heißesten Gebieten noch ausdauern, wo anderer Pflanzenwuchs sich nicht mehr erhalten kann. Es wird dies begreiflich und anschaulich, wenn man zum Beispiel aus Versuchen weiß, daß ein Kugelkaktus nur den sechstausendsten Teil einer gleich schweren, bei uns oft als Schlinggewächs gezogenen *Aristolochia Sipho* verdunstet (Noll).

An Pflanzen feuchter Standorte treten die genannten Schutzmittel mehr oder weniger zurück. (Vgl. Seite 62.)

80. Vers. Wir untersuchen Ober- und Unterseite eines frischen und eines vor 24 Stunden abgeschnittenen gewelkten Zyklamenblattes (oder Blätter von *Tropaeolum*, *Saxifraga sarmentosa*, Flieder). An ersterem transpiriert die Unterseite stärker als die obere. Beim zweiten Blatte bleibt das obere und das untere Papier blau.

An gewissen Pflanzen können sich eben die Spaltöffnungen unter Umständen von selbst schließen und so die Transpiration herabsetzen. Wir erkennen daraus, daß die Verdunstung aus den Blättern nicht einfach ein rein physikalischer Prozeß, sondern als ein biologischer Vorgang an das Leben geknüpft ist: die lebende Pflanze vermag unter ungünstigen Verhältnissen ihre Transpiration selbsttätig einzuschränken und sich somit den äußeren Verhältnissen zweckmäßig anzupassen. Diese Regulierungsbewegungen der Spaltöffnungen sind mikroskopisch nachweisbar. Ihr Zustandekommen ist so zu erklären, daß durch das starke Transpirieren die Turgeszenz der Schließzellen herabgesetzt wird, wodurch infolge der Elastizität und der „gelenkartigen“ Ausbildung der ungleich verdickten Membran der Zellen der Verschluß herbeigeführt wird. Umgekehrt bewirkt Turgorsteigerung zum Beispiel durch Besonnung ein automatisches Auseinanderweichen der Schließzellen. (Vgl. Vers. 72.)

Wenn eine Pflanze durch zu starke Transpiration welk und schlaff geworden ist, so muß es eventuell möglich sein, sie durch

Verhinderung weiterer Wasserabgabe wieder in den turgeszenten Zustand zurückzubringen.

81. Vers. Eine welk gewordene *Phaseolus*-Pflanze oder eine *Fuchsia* werden in einen „feuchten Raum“ gebracht, den man dadurch herstellt, daß man einen Glassturz innen mit feuchtem Fließpapier auskleidet, dessen unterer Rand in einen wassergefüllten Untersatz eintaucht. Auf einen umgekehrten Topf, der in der Mitte des Untersatzes seinen Platz findet, wird der Blumentopf mit der Versuchspflanze aufgestellt und mit dem Sturze bedeckt.

Wenn die Pflanze nicht zu stark gewelkt war, so kann sie sich wieder erholen, indem für den jetzt geringeren Wasserverbrauch (infolge der feuchten Luft; vgl. Vers. 69) die Wurzeln noch genügenden Ersatz herbeischaffen können; wie uns längst bekannt ist (Vers. 1), stammt ja das abgegebene Wasser in letzter Linie aus dem Boden und wir konnten schon damals durch Begießen der Erde die welk gewordene Pflanze wieder straff machen. Im großen und ganzen wird die wasseraufnehmende Tätigkeit der Bodenwurzeln mit der wasserabgebenden Wirkungsweise der oberirdischen Organe der Pflanze in einem bestimmten Verhältnisse stehen müssen, wenn dieselbe normal gedeihen soll.

Wasseraufnahme.

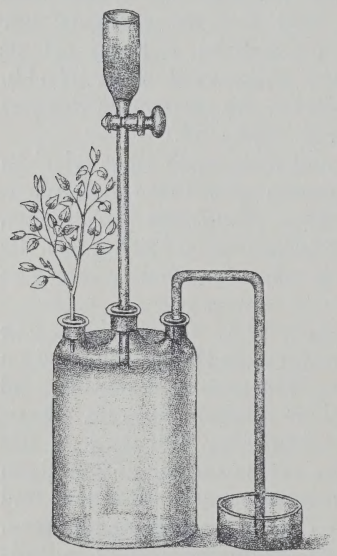


Fig. 17.

Wir stellen uns die Aufgabe, die Menge des von einer Pflanze aufgenommenen Wassers zu ermitteln.

82. Vers. (Fig. 17.) Eine Flasche mit dreifachem Halse (Woulfsche Flasche) ist durch gut passende Korke zu verschließen. Durch die Bohrung des einen Korkes wird ein etwa 3—5 *dm* langer Zweig eines gut beblätterten Holzgewächses (im Winter *Taxus*, *Buxus* etc.) eingeführt, durch den anderen ein mit Hahn verschließbares Trichterrohr und durch den dritten ein zweimal rechtwinklig gebogenes „Steigrohr“, das im Halse unmittelbar unter dem Korke endigen muß. Wir stellen den abgeschnittenen Sproß zuerst einige Stunden in Wasser. Die Flasche wird unterdessen mit Wasser, das die Zimmertemperatur angenommen hat, platt vollgefüllt (im Apparat darf überhaupt keine Luft zurückbleiben). Hierauf wird der Zweig mit dem ersten Korke in die eine Halsöffnung der Flasche fest eingefügt. Dann setzen wir den Kork mit dem Steigrohre in die dritte Öffnung ein und zum

Schlusse das Trichterrohr mit geöffnetem Hahn. Beim Einsetzen des Korkes wird dabei Wasser bis über den Hahn emporgepreßt (eventuell wird von oben Wasser nachgefüllt) und dieser geschlossen. Gießt man nun den Trichter mit Wasser voll und läßt dieses langsam abfließen (aber nicht bis unter den Hahn), so wird das Wasser durch das Steigrohr auszutreten beginnen. In diesem Augenblicke schließt man den Hahn. Sollte trotz allem Luft in der fest verkorkten Flasche zurückgeblieben sein, so läßt man den Trichter ab, schließt den Hahn und dreht das ganze Gefäß um, so daß die Luftblasen sich am Boden der Flasche ansammeln, von wo sie durch vorsichtiges Neigen in die dritte Halsöffnung gebracht werden können. Läßt man jetzt aus dem Trichter wiederum Wasser nachfließen, so wird alle Luft durch das Steigrohr entweichen, worauf der Hahn geschlossen wird.

Um luftdichten Verschluß der Flasche zu erzielen, verstreicht man die Korke mit Klebwachs. (Vgl. Anhang.) Wird der Apparat in einen wärmeren Raum gebracht, so dehnt sich das Wasser im Steigrohr aus und fließt aus; umgekehrt wird in einem kälteren Zimmer durch Zusammenziehen des Wassers Luft in das Steigrohr eindringen. Man muß in diesen Fällen warten, bis der ganze Apparat die Zimmertemperatur angenommen hat. Um die aufgestiegene Luft wieder zurückzudrängen, läßt man einfach aus dem Trichterrohre etwas Wasser nachfließen. Nun saugt man aus dem unteren Ende des Steigrohres durch Löschpapier etwas Wasser heraus und läßt die Mündung des Glasrohres in ein Gefäß mit durch einige Tropfen Eosin gefärbtem Wasser eintauchen.

Wenn nun der Zweig transpiriert, so wird nach Maßgabe des verdunsteten Wassers eine Luftblase und gefärbtes Wasser im Steigrohre emporgesaugt. Die Transpiration übt ebenso auf das Wasser des Pflanzenkörpers und des Bodens eine saugende Wirkung aus. (Vgl. Vers. 93, 2.)

Um eine Vorstellung von der Menge des aufgenommenen Wassers zu erlangen, können wir folgendermaßen verfahren:

83. Vers. 1. Man bestimmt den Durchmesser ($2r$) des Steigrohres und mißt die Höhe (h), bis zu welcher das gefärbte Wasser emporgestiegen ist. Es ist dann leicht, das Volumen der zylindrischen Wassersäule, welche in einer bestimmten Zeit emporgehoben wurde, nach der Formel $r^2 \pi h$ zu berechnen.

2. Vor Beginn des Versuches wird das unter dem Steigrohre befindliche Gefäß mit gefärbtem Wasser (das in diesem Falle mit einer Ölschicht abgeschlossen sein muß) abgewogen. Nach einer gewissen Zeit, nachdem Wasser in das Steigrohr aufgestiegen ist, wägt man das Gefäß neuerdings ab; die Gewichtsabnahme entspricht der Menge des aufgenommenen Wassers.

Man hat auch die Menge des aufgenommenen mit der des abgegebenen, das heißt aus den Blättern verdunsteten Wassers zu vergleichen gesucht, da von vornherein nicht zu entscheiden

ist, in welchem Verhältnisse Aufnahme und Abgabe zueinander stehen.

84. Vers. Zu diesem Zwecke wird der ganze Apparat auf eine Wage gestellt, beziehungsweise sein Gewichtsverlust von Zeit zu Zeit ermittelt: er gibt die Menge des transpirierten Wassers an. Bestimmt man für denselben Zeitraum die Gewichtsabnahme bloß des Gefäßes, welches das gefärbte Wasser enthält (vgl. Vers. 83), so ergibt sich daraus, wieviel Wasser aufgenommen worden ist.

Genauere Untersuchungen haben gezeigt, daß nicht alles aufgenommene Wasser auch wieder verdunstet, sondern daß unter normalen Verhältnissen etwas mehr Wasser aufgenommen als durch Transpiration abgegeben wird. Offenbar dient das in der Pflanze zurückbleibende Wasser zu verschiedenen, innerhalb der Zellen sich abspielenden Vorgängen (von denen wir später einen oder den anderen — vgl. „Stärkebildung“ — werden kennen lernen). Doch entspricht gesteigerter Transpiration auch eine vermehrte Wasseraufnahme, so daß letztere einen ungefähren Maßstab zur Beurteilung, ob erstere zu- oder abgenommen hat, abgibt. (Vgl. Aufgabe 9.)

Namentlich großblättrige oder reichbelaubte Pflanzen (Bäume) stellen an den Wasserreichtum des Bodens große Anforderungen. Eine mannshohe Sonnenrose gibt an einem hellen Tage etwa 1 *l* Wasser ab, eine Birke mit einer Krone von etwa 200.000 Blättern 60 *l*, an heißen Tagen sogar bis 500 *l*. Die von 1 *ha* eines Buchenhochwaldes von 115 Jahren täglich verdunstete Wassermenge berechnet sich zu etwa 30.000 *l*, während in der gesamten Vegetationsperiode eines Jahres 3 Millionen Kilogramm Wasser durch die Blätter in Dampfform an die Atmosphäre abgegeben werden (Höhnel). Diese oft enormen Wasserquantitäten müssen aber alle der Erde entnommen worden sein und mit dem Wasser sind verschiedene Mineralsalze aufgenommen und der Pflanze einverleibt worden. (Vgl. Vers. 100.)

Einige Beispiele sollen uns anschaulich machen, welche großen Mengen von Mineralstoffen auf diese Weise durch die Pflanze dem Erdboden entzogen werden. 1 *ha* Weizenfeld liefert bei der Ernte durchschnittlich etwa 1799 *kg* Trockensubstanz in den Körnern und 2698 *kg* im Stroh, also im ganzen 4497 *kg* Trockensubstanz. Rechnet man davon 1·7%, beziehungsweise 4·6% an Asche, so ergibt sich die Zahl von ca. 283 *kg* Mineralbestandteilen, welche von 1 *ha* Weizenfeld dem Untergrunde entnommen und mit der Ernte unwiederbringlich entzogen worden sind. (Vgl. „Trockensubstanz“.) Ebenso bewirkt der Holzschlag in den Wäldern und das Ausführen der Waldstreu eine Verarmung des Bodens; in diesen Fällen muß der Mensch künstlich durch Zufuhr der entsprechenden Düngemittel Ersatz für den

Verlust schaffen. (Vgl. „Düngung“.) Nur dort, wo die Vegetation sich selbst überlassen ist, gelangen alle dem Erdreiche entzogenen Substanzen wieder in den Boden zurück, wenn die Pflanzen absterben und bei der Verwesung die zurückgehaltenen unorganischen Bestandteile des Pflanzenleibes wieder frei werden. Solchen Ansprüchen an Wasser- und Mineralreichtum kann natürlich nicht jeder Boden genügen und darum wird das Vorkommen und Gedeihen einer bestimmten Pflanze unter anderem auch davon abhängen, ob der Boden entsprechende Mengen der unentbehrlichen Aschenbestandteile enthält oder durchlässig oder wasserarm ist, ob er das aufgenommene Wasser festhalten kann oder nicht (vgl. Vers. 54, 55). Insbesondere ist zu vermuten, daß kalter Boden auch die Wasseraufnahme in anderer Weise als ein warmer beeinflussen wird.

Das „Erfrieren“ der Pflanzen.

85. Vers. Man bringt zwei möglichst gleiche Topfpflanzen (Dahlien oder Tabakpflanzen) in eine flache Schale (Fig. 18) und umgibt den Topf mit Eisstückchen, mit welchen man auch die Topferde bedeckt. In letzterer steckt ein Thermometer, um die Bodentemperatur bestimmen zu können, während an einem am Topfe befestigten rechtwinkligen Träger (zum Beispiel Glasstab) ein zweites Thermometer zur Ablesung der Lufttemperatur aufgehängt wird. Die erste Versuchspflanze (*a*) stellt man mit der Schale in eine größere Untertasse und läßt sie frei an der Luft (an einem kühlen Orte) stehen, die zweite (*b*) wird ebenso aufgestellt und noch mit einem Sturze, der auf der Untertasse aufruht, bedeckt.

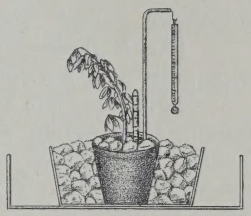


Fig. 18.

Nach mehreren Stunden ist die freistehende Pflanze (*a*) verwelkt, während die mit dem Sturze bedeckte Pflanze (*b*) frisch ist. Die Lufttemperatur war dabei höher als die des Bodens und über 0^0. Die freistehende Pflanze transpirierte weiter, während die Pflanze *b* infolge der Bedeckung nur sehr schwacher Transpiration ausgesetzt war; in ersterem Falle reichte die Wasseraufnahme aus dem kalten Boden seitens der Wurzeln nicht mehr hin, um das verdunstete Wasser zu ersetzen; die Pflanze (*a*) welkt daher, da die Wasserabgabe größer als die Aufnahme war, und geht endlich zugrunde. Kalter Boden ist für die Pflanzen trockener Boden. Das anscheinende Erfrieren solcher Pflanzen (wie im Falle *a*) bei Lufttemperaturen über 0^0 beruht also auf einem Verwelken und Vertrocknen ihrer Blätter, denen von den Bodenwurzeln zu wenig Wasser nachgeliefert wurde, und hat mit dem Gefrieren der Pflanzensäfte nichts zu tun, da Salzlösungen bekanntlich erst unter 0^0 frieren können. (Vgl. Aufgabe 12.)

86. Vers. Wiederholt man den vorigen Versuch mit einem *Coleus*, einer häufig kultivierten Blattpflanze, so welkt dieselbe auch bei gehemmter Transpiration und einer Temperatur über 0° unter dem Sturze. (Nach Wiesners Vorlesungen.)

In diesem Falle kommt es auch zu keiner Eisbildung; ein Überwiegen der Transpiration im Vergleiche zur Wasseraufnahme kann auch nicht angenommen werden; offenbar ist das Protoplasma der Zellen überhaupt für niedrige Temperaturen sehr empfindlich und wird durch dieselben in unbekannter Weise schädlich beeinflußt.

Daß es zu Schädigungen der Zellen führen kann, wenn der Zellsaft zum tatsächlichen Gefrieren gebracht wird, ist erklärlich, wenn man bedenkt, daß sich Wasser beim Erstarren mit großer Gewalt ausdehnt. Wir lassen Pflanzenteile hart gefrieren, um die Folgeerscheinungen studieren zu können.

87. Vers. Kartoffelknollen und Blätter von *Funkia*, *Iris* und andere werden etwa eine Stunde auf Eis oder in eine Kältemischung gelegt. (Nach Wiesners Vorlesungen.)

(Als Kältemischung kann man eine Mischung von 3 Gewichtsteilen Eis oder Schnee mit 1 Gewichtsteile Kochsalz verwenden.)

Läßt man die steinhart gefrorene Kartoffelknolle rasch auftauen, so wird sie weich; wird sie jetzt (etwa mittelst Korkbohrer) angebohrt, so kann man aus den Bohrlöchern wie aus einem Schwamme Wasser auspressen, was bei frischen Knollen nicht möglich ist.

Die gefrorenen Blätter erscheinen in der Durchsicht mehr oder weniger mit durchscheinenden Flecken versehen.

Aus diesen Ergebnissen geht hervor, daß aus den Zellen Wasser austritt und, wie an der Transparenz der Blätter zu erkennen ist, in die Interzellularen übergeht, wo es gefriert. Der in der lebenden Zelle vorhandene Turgor kann in der erfrorenen Zelle auf keine Weise mehr wiederhergestellt werden. Das Gefrieren hat die Eigenschaften der Plasmahaut verändert, offenbar, indem es den molekularen Bau derselben gestört oder gar zerstört hat, wodurch es zur Tötung der betreffenden Pflanze kommen kann.

Allerdings darf nicht unerwähnt bleiben, daß nicht wenige Pflanzen selbst das völlige Durchfrieren vertragen und bei neuerlichem Wiederauftauen vollkommen lebensfähig sind, wie die Bewohner arktischer Gegenden oder hochalpiner Standorte. In dem Ertragen von Kältegraden werden sie jedoch noch weitaus von gewissen niedrigen pflanzlichen Organismen übertroffen, welche selbst monatelanger Einwirkung von Temperaturen über 200° unter Null erfolgreich widerstehen.

Kehren wir zu den Erscheinungen der Transpiration zurück.

Die Leitung des Wassers:

Schon die Erwägung, daß eine durch zu starke Transpiration welk gewordene Pflanze nach Begießen des Bodens wieder frisch

wird, führt zu dem Schlusse, daß zwischen Wurzel und Blatt eine Leitung von Wasser stattfinden muß. Sofort aber tritt die Aufgabe an uns heran, zu untersuchen, ob denn alle Zellen des Pflanzenkörpers, die zwischen Wurzel und Blatt liegen, in gleicher Weise zur Fortbewegung des Wassers im Stamme geeignet sind, oder ob auch hier eine „Arbeitsteilung" der Gewebe eintritt.

Die Leitungsbahnen.

88. Vers. Wir schneiden drei ungefähr gleich beschaffene Sprosse von *Sambucus* ab und stellen sie mit der Schnittfläche in Wasser; beim ersten (*a*) haben wir etwa auf 5 *cm* Länge Rinde und Holz vorsichtig weggeschnitten, so daß der Zweig nur mit dem Marke in das Wasser eintaucht; beim zweiten (*b*) wurde die Rinde vorsichtig bis auf das Holz abgeschält, ohne dieses einzuschneiden, so daß also bloß das Holz und das Mark im Wasser steht; endlich (*c*) wurde auf zwei Seiten ein mehrere Zentimeter messender Längsschnitt in die Rinde gemacht, um so das Holz mit dem Marke entfernen zu können und den Zweig nur mit der Rinde eintauchen zu lassen. Nur im Falle *b*, wo der Holzzylinder mit dem Marke in das Wasser eintaucht, bleibt der Zweig frisch.

89. Vers. An einem am Stamme eines Holzgewächses befindlichen Zweige wird in der Nähe der Abzweigung ein etwa 5 *cm* langes Rindenstück rund um den Zweig vorsichtig bis auf das Holz abgeschält und die „Ringelungsstelle" mit Stanniol oder bei länger dauernden Versuchen mit Baumwachs (um Austrocknen zu verhindern) umgeben. Das „Ringeln" geschieht am besten so, daß man rings um den Zweig zwei bis zum Holze eindringende Kreisschnitte macht, ohne in das Holz selbst einzuschneiden, hierauf die Rinde durch einen Längsschnitt aufspaltet und jetzt abschält. Das unter den oberen Schichten liegende grüne Gewebe wird ebenfalls bis auf das Holz durch Abschaben entfernt. (Fig. 39)

Der Zweig bleibt frisch; das Wasser wird also nicht durch die Rinde geleitet; diese und — wie aus dem vorhergehenden Versuche (Fall *a*) ersichtlich — auch das Mark kommen für die Wasserleitung nicht in Betracht, vielmehr vermittelt nur der Holzteil des Stammes die Wasserleitung von der Wurzel ins Blatt. Es ist aber fraglich, ob das Holz in seiner Gänze der bezeichneten Aufgabe dient.

Um zunächst die Wasserleitungsbahnen deutlicher zu machen, lassen wir mit dem Wasser einen Farbstoff aufsteigen.

90. Vers. 1. Bereite eine wässerige Eosinlösung, welche bei 10 *cm* Dicke noch durchscheinend ist; in diese stellt man das untere Ende eines etwa 1—2 *cm* dicken und etwa $^1/_2$ *m* langen Sprosses eines Holzgewächses (zum Beispiel *Robinia* oder Linde; im Winter etwa *Rhododendron ponticum*, Mais oder *Phaseolus*), der vorher, nach dem Abschneiden, einige Stunden in Wasser gestanden haben muß. Das Übertragen in die Eosinlösung muß

schnell vor sich gehen. Man sorgt dafür, daß die Zweige gut transpirieren können (stelle sie zum Beispiel in die Sonne).

Nach einer halben Stunde und länger überzeugt man sich durch Abziehen von Rindenstückchen bis auf das Holz, wie weit der Farbstoff aufgestiegen ist und schneidet unterhalb der oberen Grenze der Färbung den Zweig glatt durch.

Am Querschnitte erscheint nur das Holz (und bei *Robinia* speziell nur in den äußeren Schichten) gefärbt.

2. Ein zirka 5 *cm* langes und etwa 1 *cm* dickes zweigloses Aststück von *Taxus* wird beiderseits mit glatten Schnittflächen versehen und über das eine Ende ein $^1/_2$ *m* langer Kautschukschlauch gezogen, eventuell auch festgebunden. Läßt man das Zweigstück am Schlauche vertikal herabhängen, so kann man am oberen Ende durch einen Trichter gewöhnliches oder mit Eosin gefärbtes Wasser einfüllen. Hierauf biegt man den Zweig empor, so daß seine freie Schnittfläche jetzt nach oben schaut und vom Oberende des Schlauches überragt wird. (Nach Darwin.)

Ziemlich bald wird die Schnittfläche durch Wasseraustritt feucht, beziehungsweise rot gefärbt. Gerade bei der Eibe läßt sich, namentlich mit einer Lupe, leicht folgende Beobachtung machen: Das Wasser tritt nur aus den äußeren, nicht gefärbten Holzschichten aus, während das dunkel gefärbte Kernholz kein Wasser durchtreten läßt. Preßt man auf die Schnittfläche, nachdem man das überschüssige Wasser mittelst Löschpapier abgesaugt hat, trockenes Lösch- oder Kobaltpapier fest mit dem Finger an, so entsteht darauf eine ringförmige Zone. — Wir erkennen somit die Tatsache: Nur das Holz, insbesondere der äußere Teil desselben (Splint), ist zur ausgiebigen Wasserleitung geeignet. Dieser Befund muß uns überraschend erscheinen, wenn wir die oft kolossale Dicke von Baumstämmen in Betracht ziehen, da es widersinnig anzunehmen scheint, daß nur der schmale Zylindermantel des Splintes von Wichtigkeit ist, während der größte Teil der Gewebemassen für die Pflanze ohne Wert sein soll. Indessen beruht die Bedeutung der Hauptmasse des Holzes nicht auf der Wasserleitung, sondern auf den mechanischen Eigenschaften desselben, von welchen die Festigung des Pflanzenkörpers abhängt. Mit zunehmendem Alter haben die infolge des Dickenwachstums von jüngeren Holzschichten überlagerten Gewebe die Fähigkeit der Wasserleitung allmählich eingebüßt, dafür aber eine andere, nicht minder wichtige Aufgabe übernommen: es ist ein Funktionswechsel des Gewebes eingetreten, der anatomisch schon vorbereitet war, indem wir im Holze sowohl wasserleitende als auch der Festigung dienende Elemente nebeneinander finden.

Macht man einen Querschnitt durch einen Zweig oder Stamm eines Holzgewächses, so erkennt man leicht zwischen dem

in der Mitte befindlichen Marke und der umgebenden Rinde einen mehr oder minder geschlossenen Hohlzylinder, das Holz (Fig. 19). Während Mark- und Rindengewebe zum größten Teil aus rundlichen oder polyedrischen Zellen, sogenannten Parenchymzellen (*p*), bestehen, überwiegen im Holze langgestreckte Elemente. Teils sind es langgezogene Zellen mit dicker, verholzter (vgl. Vers. 33) Membran, deren Inhalt bald abstirbt (sogenannte Holzfasern, *h*), teils mehr oder minder lange Röhren mit ebenfalls verholzten Wänden und ohne lebenden Inhalt, die Gefäße (*g*), deren Länge sich durch folgenden Versuch anschaulich machen läßt.

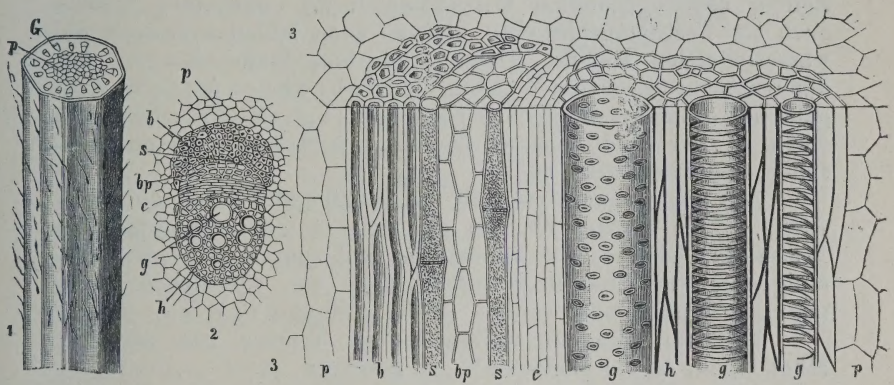


Fig. 19.

1. Stück eines Stengels der Sonnenblume; am Querschnitte sind die im Grundgewebe *p* eingebetteten Gefäßbündel *G* ersichtlich. — Natürliche Größe. — *2.* Querschnitt durch ein einzelnes dieser Gefäßbündel. — Vergr. 25. — *3.* Dasselbe Gefäßbündel stärker vergrößert im Längs- und Querschnitte. — Vergr. 100. — Nach Wettstein. — (*c* Kambiumzellen, *bp* Siebparenchym.)

91. Vers. 1. Man kann an dem einen Ende eines etwa 1 *m* langen spanischen Rohres Zigarrenrauch einblasen, der am entfernteren Ende wieder zum Vorschein kommt.

2. Wenn man aus älterem Stammholze, etwa von Eichen, Stäbe schneidet, so kann man durch das eine Ende derselben mit dem Munde Luft einblasen, welche, während das andere Ende unter Wasser taucht, in Blasen aufzusteigen beginnt. (Nach Wiesners Vorlesungen.)

Versuche haben gezeigt, daß die Gefäße mitunter 1—2 *m* oder noch länger sein können.

Außerdem treten im Holze noch faserförmige Elemente auf, welche mäßig verdickt und mit eigenartigen Membraneinrichtungen (den „Hoftüpfeln“) versehen sind; sie erreichen im Vergleiche zu den Gefäßen nur geringfügige Längen und führen den Namen Tracheïden.

In den dickwandigen, engen Holzfasern haben wir die der Festigkeit des Stammes dienenden Elemente zu erblicken; hingegen erfolgt die Leitung des Wassers teils in den Tracheïden, teils in den weiteren Gefäßen, deren Wände weniger verdickt sind. Späterhin verstopfen sich öfters die Hohlräume der letzteren und lassen das Wasser nicht mehr passieren.

Statt des geschlossenen Holzzylinders finden sich in krautigen Stengeln einige getrennte „Gefäßbündel", deren dem Marke zugewendeter Teil im Baue dem oben besprochenen Holzkörper entspricht, während rindenwärts, im sogenannten Siebteile, zwar auch langgestreckte, oft ungemein dickwandige und verholzte Zellen, die sogenannten Bastfasern (*b*), auftreten, welche auch als Festigungselemente dienen, doch fehlen anderseits die wasserleitenden Gefäße. Dafür sind hier lange Röhren mit dünnen, nicht verholzten Wänden, die Siebröhren (*s*), deren Aufgabe uns später verständlich werden wird. (Vgl. „Stoffwanderung".) Auch in der Rinde unserer Bäume und Sträucher treten Bastzellen und Siebröhren auf.

Aus dem Stamme zweigen die Gefäßbündel durch die Blattstiele in die Blätter ab, wo sie sich in der mannigfachsten Weise als „Blattnerven" verzweigen und zum Teil wieder vereinigen, so daß Inseln grüner Gewebe von förmlichen Netzmaschen umschlossen werden. (Siehe Aufgabe 17.)

Das im Stamme weitergeleitete Wasser hat also die Möglichkeit, in die Blattspreite zu gelangen.

92. Vers. Wiederholen wir den Versuch 90, 1 mit einem Sprosse, der mit weißgefleckten („panaschierten") Blättern versehen ist (*Acer Negundo foliis variegatis* und andere) oder mit weißen Tulpenblüten (oder den Blüten von *Philadelphus coronarius*), im Winter mit im Dunkeln gewachsenen und knapp über dem Boden abgeschnittenen jungen Maispflänzchen, so werden allmählich die Nerven namentlich in der Durchsicht gefärbt erscheinen.

Der Versuch zeigt, daß in der Tat durch die Gefäßbündel der Blätter, die sogenannten „Blattnerven", das Wasser in jedes einzelne Blatt geleitet wird.

Diese „Nerven" endigen schließlich in einzelne gestreckte Zellen, welche das Wasser an die grünen Zellen abgeben. Die Blattfläche gleicht so einem Felde, das von zahllosen Kanälen und Kanälchen in ausgiebigster Weise bewässert wird.

Die Ursachen der Wasserbewegung.

Nachdem wir nunmehr erkannt haben, welches die Wege der Wasserleitung im Pflanzenkörper sind, bleibt noch die Frage nach den Ursachen des Transpirationsstromes zu beantworten. Wiederum drängt sich uns der Vergleich mit einfacheren physikalischen Verhältnissen auf:

93. Vers. 1. Wir füllen das Trichterrohr des osmotischen Apparats in Vers. 38 mit Wasser, indem wir die enge Mündung mit dem Finger verschließen. Etwaige Luftblasen im Rohre

entfernen wir, indem wir einen Teil des Wassers ablaufen lassen und neuerdings von oben Wasser nachfüllen, bis eine kleine Wasserkuppe über den Trichter emporragt. Sodann verbinden wir die weite Trichtermündung straff mit einem Stücke eingeweichter Schweinsblase. Das untere Ende des Rohres taucht in ein Gefäß mit Quecksilber wie in 2.

2. (Fig. 20.) Über das untere Ende eines reich beblätterten, etwa $^1/_2\,m$ langen Zweiges (Linde und andere) wird ein kurzer Kautschukschlauch geschoben und festgebunden. In das vorstehende Schlauchende wird ein langes, passendes Glasrohr (von etwa 6 bis 7 *mm* Weite) gesteckt, bis es die Zweigbasis berührt, und der Schlauch auch am Glasrohre festgebunden. Das Rohr wird jetzt ganz mit Wasser gefüllt und die mit dem Finger verschlossene Mündung in ein Gefäß mit Quecksilber gebracht, worauf der Finger unterhalb des Quecksilberspiegels entfernt wird. Das ganz mit Wasser gefüllte Rohr wird nun vertikal befestigt.

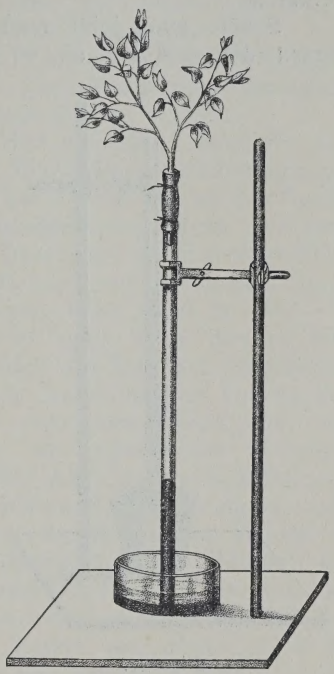


Fig. 20.

In dem Maße, als Wasser durch die Schweinsblase oder durch die Blätter verdunstet, wird Quecksilber im Rohre emporsteigen. Die Transpiration übt somit eine hebende Wirkung auf das den Apparat oder die Pflanze erfüllende Wasser aus. (Siehe Vers. 82.)

Suchen wir uns den Vorgang möglichst klar zu machen. Indem durch die Blase Wasser verdunstet, wird unterhalb der verschließenden Membran etwas Raum geschaffen, der sofort wieder ausgefüllt wird, da der äußere Luftdruck auf den freien Flüssigkeitsspiegel drückt. Dadurch wird also ein neues Wasservolumen, beziehungsweise Quecksilber, emporsteigen. Der Außendruck der Atmosphäre könnte, wie man weiß, unter solchen Umständen Wasser 10 *m* hoch emporheben. Nun liegt der Fall im Pflanzengewebe aber ganz anders. Vor allem sind die Leitungsbahnen Röhren, welche gelegentlich von Querwänden unterbrochen werden.

94. Vers. Ein Zweig eines Holzgewächses mit gut transpirierenden Blättern (*Ampelopsis* oder *Vitis*) oder eine krautige

Pflanze (etiolierte, 3—4 *dm* lange und durch zweitägiges Nichtbegießen etwas gewelkte *Phaseolus*- oder *Vicia Faba*-Keimlinge) wird an einem hellen, warmen Tage auf eine kurze Strecke in eine flache, mit Quecksilber gefüllte Wanne (photographische Entwicklerwanne zum Beispiel) eingetaucht und unter Quecksilber (oder einer Eosinlösung) so mit einer scharfen Gartenschere durchschnitten, daß die Schnittflächen dabei beständig unter Quecksilber bleiben, also mit der Luft in keine Berührung kommen

Schält man jetzt nach einiger Zeit Rindenstückchen in verschiedenen Höhen ab, so findet man darunter kurze, mehrere Zentimeter lange Quecksilberfäden bis zu einer gewissen Höhe. Es sind die Gefäße, welche mit Quecksilber gefüllt sind. Der äußere Luftdruck ist nämlich größer als der Druck der Gefäßluft (in den Gefäßen herrscht „negativer“ Druck) und hat daher das Quecksilber in die angeschnittenen Leitungsbahnen eingepreßt, welche außer kurzen Wassersäulchen damit abwechselnd Blasen von verdünnter Luft führen. Ohne daß der Zweig durchschnitten wird, kann aber an unverletzten Pflanzen die Außenluft nirgends mit der Gefäßluft in Verbindung treten, da die Wasserleitungsbahnen allseitig geschlossen sind.

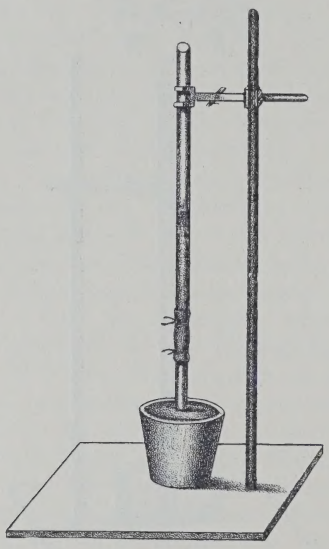


Fig. 21.

Somit muß noch eine andere Ursache vorhanden sein, welche das Wasser in die Krone hebt, um so mehr, als es ganz unerklärlich bliebe, wie denn der Luftdruck das Wasser in Bäumen, welche über 10 *m* hoch sind, emporschaffen könnte.

Wurzeldruck.

Man hat sich da der alten Beobachtung erinnert, daß Weinstöcke und viele Holzgewächse im Frühjahre beim Anschneiden wässerigen Saft ausfließen lassen, eine Beobachtung, die man auch an manchen krautigen Pflanzen anstellen kann.

95. Vers. (Fig. 21.) Eine Topfpflanze von *Impatiens* oder *Helianthus* wird einige Zentimeter über dem Boden mit einem scharfen Messer durchgeschnitten und darüber ein passender Kautschukschlauch mit eingesetztem Glasrohre geschoben, welches vertikal fixiert ist. Die Erde wird gut begossen und das Ganze in feuchte Luft gebracht Bevor der Schlauch befestigt wird, gibt man auf die Schnittfläche einen Tropfen Wasser, um ihr

Austrocknen zu verhüten. — Aus dem Strunke steigt Wasser empor.

Dieses Ausgepreßtwerden von Wasser erfolgt bisweilen mit großem Drucke, der Wasser bis zu 18 *m* emporheben könnte. Doch hört dieser Wurzeldruck oft schon nahe dem Boden auf und erreicht im Freien nur selten beträchtliche Werte, ja nach starker Transpiration tritt aus dem Stumpfe kein Wasser aus:

96. Vers. Wiederhole den Versuch mit einer in trockenem Boden stehenden Pflanze, welche vorher stark transpiriert hat. — Fülle in das aufgepaßte Glasrohr etwas Wasser ein.

Jetzt wird sogar dargebotenes Wasser vom Strunke eingesaugt. Jedenfalls kann auch auf diese Weise die Versorgung höherer Baumwipfel mit Wasser nicht erklärt werden.

Das Zustandekommen dieses Wurzeldruckes haben wir uns so vorzustellen, daß das von den Wurzelhaaren aufgenommene Wasser durch die äußeren Gewebe der Wurzel bis zu den Gefäßbündeln gelangt, in deren Leitungsbahnen es eintritt, und zwar bisweilen unter ganz beträchtlichem Druck, der uns aber begreiflich erscheint, wenn wir uns an den oft noch viel höheren Turgordruck erinnern, der in Zellen auftreten kann. (Vgl. S. 30.)

Mitunter „blutet“ ein Gewächs auch ohne direkte Mitwirkung der Wurzelzellen: auch Zellen des Stammes veranlassen bisweilen Austritt von „Blutungssaft“ unter starkem Drucke von mehreren Atmosphären, wenn sie sehr wasserreich sind oder durch Einschnitte in die Gewebe ein sogenannter Wundreiz hervorgerufen wird. Durch Ein- oder Abschneiden von Palmenblütenständen (Molisch) oder von Blütenschäften der *Agave* erhält man einen Saft, der infolge seines Zuckergehaltes alsbald zu gähren beginnt und sich zu „Palmwein“ oder „Pulque“ der Mexikaner umwandelt. (Ein Agavenschaft kann in vier bis fünf Monaten etwa 1000 *l* Saft erzeugen; der ausfließende Saft des nordamerikanischen Zuckerahorns liefert pro Baum 2—3 *kg* Zucker, der daraus auch gewonnen und verwertet wird.)

Der letzte Versuch über den natürlichen Wurzeldruck läßt es verständlich erscheinen, daß eine angewelkte Pflanze wieder straff wird, wenn den Wurzeln durch Begießen des Bodens Wasser zugeführt wird. Man kann in ähnlicher Weise einen welken Sproß wieder frisch machen, wenn man künstlich Wasser in seine Schnittfläche einpreßt.

97. Vers. (Fig. 22.) In gleicher Weise wie im Versuche 95 wird ein durch Anwelken etwas schlaff überhängender Sproß in den kürzeren Schenkel eines etwa 7—10 *mm* weiten sogenannten U-Rohres eingepaßt, so daß die Schnittfläche des Sprosses in Wasser taucht, welches sich im U-Rohre befindet. Wird nun durch den längeren Schenkel allmählich Quecksilber eingegossen, bis es etwa 10 *cm* höher als im kürzeren Schenkel steht, so wird Wasser durch den Überdruck in den Sproß ein-

gepreßt. Markiere die Stellung des schlaffen Zweiges. — Der welke Sproß beginnt sich nach und nach wieder aufzurichten, er wird wieder „turgeszent“. Wir haben auf diese Weise künstlich die Wirkung des Blutungsdruckes ersetzt.

Guttation.

98. Vers. 1. Ein Blumentopf mit etwa 3 *cm* langen Weizen- oder Maiskeimlingen wird im Dunkeln in eine wassergefüllte Schale gestellt und mit einem innen mit feuchtem Fließpapier ausgekleideten Sturze überdeckt.

2. Wir benützen zum Experiment einen Balsaminensproß und stellen den damit versehenen Apparat (siehe Fig. 22) in einen möglichst feuchten Raum. Hierauf gießen wir so lange Quecksilber ein, bis es im langen Schenkel des U-Rohres etwa 30 *cm* höher als im kurzen steht. (Nach Detmer.)

Nach kurzer Zeit beginnen aus den Blattspitzen oder aus den Zähnen der Blatträndern Wassertröpfchen auszutreten, welche nach Absaugen mit Fließpapier wieder erscheinen. Wir haben hier den Fall vor uns, daß die Pflanze mitunter auch tropfbar flüssiges Wasser aus sogenannten „Wasserspalten“ austreten läßt, eine Erscheinung, welche man oft am frühen Morgen an Wiesenpflanzen beobachten kann und die den Namen „Guttation“ führt (Burgerstein). Von Taubildung, mit der sie meist verwechselt wird, ist sie dadurch zu unterscheiden, daß die Tröpfchen nur an bestimmten Stellen des Blattes auftreten (Spitzen, Blattränder, Blattzähne), welche durch die Ausbildung besonderer anatomischer Einrichtungen, meist von „Wasserspalten“, das heißt kleinen, den Spaltöffnungen ähnlichen Lücken im Gewebe, charakterisiert sind. In beiden Fällen ist es der Wurzeldruck, der infolge Hemmung der Transpiration so stark wird, daß es zu einem Auspressen von Wasser kommt.

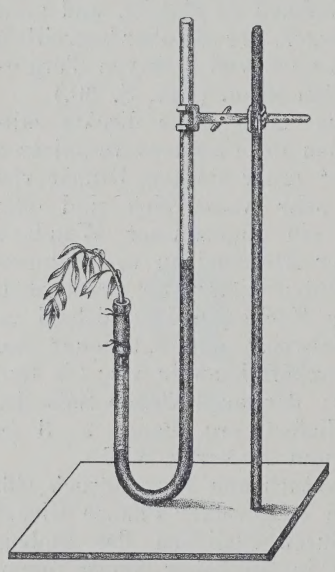


Fig. 22.

Man hat noch andere Erklärungsversuche für die Ausgiebigkeit der Wasserversorgung aufgesucht.

Die naheliegende Vermutung, daß das Wasser in den Gefäßen des Holzes einfach durch Kapillarität emporsteigt, ist nicht stichhältig; ihr widersprechen viele Gründe, unter anderem

auch der, daß das Wasser hierbei nicht einmal zur Höhe eines mittelgroßen Baumes aufsteigen könnte.

Indem Wasser aus den Zellen (namentlich des Blattes) verdunstet, während die Mineralsalze in demselben zurückbleiben, erfährt der Zellsaft eine höhere Konzentration. Daher beginnt er nun osmotisch Wasser an- und nachzusaugen. Die dadurch erregte Wasserbewegung pflanzt sich von Zelle zu Zelle fort, geht aber so langsam vor sich, daß sie zu einer ausgiebigen Versorgung der transpirienden Pflanze mit Wasser nicht hinreicht; denn der Transpirationsstrom erreicht mitunter Geschwindigkeiten bis zu 1—2 *m* in der Stunde. (Vgl. Aufgabe 14.)

Das Problem des „Saftsteigens“ ist somit noch nicht endgültig gelöst. Man kennt nur verschiedene Ursachen, welche möglicherweise verschieden kombiniert zusammenwirken können, um das Wasser zu heben. Wie die Entscheidung auch ausfalle: das ist sicher, daß der Vorgang selbst ein viel komplizierterer ist, als man anfangs dachte, und nur durch ein harmonisches Zusammenwirken aller beteiligten Kräfte die anscheinend so einfache Leitung des Wassers ermöglicht wird.

Bedeutung der Transpiration.

Wenn wir sehen, daß die Pflanzen trockener Standorte mannigfache Einrichtungen ausbilden, um die Transpiration auf das kleinste Maß einzuschränken und zu starken Wasserverlust zu hindern, so kann sich uns leicht die Vorstellung aufdrängen, in der Transpiration ein unvermeidliches Übel zu erblicken, sie vielleicht sogar als schädlich zu betrachten. Was geschieht also, wenn wir normal transpirierende Pflanzen an ausgiebiger Verdunstung hindern?

99. Vers. Zweige von *Robinia* werden in einem „feuchten Raum“ (Vers. 81) ins Dunkle gestellt. Nach einigen Tagen wird der Sturz abgenommen.

Es findet ein fast momentanes Abfallen sämtlicher Blättchen statt, welche längere Zeit am normalen Transpirieren gehindert worden waren.

Der herbstliche Laubfall beruht vor allem auf einer durch den natürlichen Feuchtigkeitsgehalt der Luft bewirkten Herabsetzung oder Hemmung der Transpiration. Je größer die letztere war, desto rascher erfolgt nun die Entlaubung; die wenig transpirierenden Holzgewächse haben immergrüne, das heißt bleibende Blätter. Dieser natürlich vor sich gehende Laubfall bringt unseren einheimischen sommergrünen Holzgewächsen manchen Vorteil. (Vgl. Knospentreiben, Transpirationsschutz, Vers. 85, Aufgabe 11; Verringerung des Schneedruckes, Aufgabe 20.)

Unser künstlich mitten in der Vegetationsperiode herbeigeführter Laubfall aber ist für die Pflanze nicht nur wertlos, sondern, da sie zu dieser Zeit ihre Blätter wichtig braucht, sogar sehr nachteilig. Wir können daraus entnehmen, daß für unsere Versuchspflanzen und zahlreiche andere Gewächse die Abgabe

von Wasserdampf ein wichtiger Lebensvorgang ist, dessen Bedeutung wir uns klar zu machen trachten müssen.

Die Mineralstoffe, welche vom Transpirationsstrome durch die Holzteile der Gefäßbündel bis in die Blätter gelangt sind, bleiben in denselben liegen:

100. Vers. Wenn Blätter verbrennen, so bleibt Asche zurück. Hält man frische Blätter (zum Beispiel von *Rosa*, *Sambucus*, *Iris* und andere) in den Rand der farblosen Bunsenflamme, so zeigen sie durch die Flammenfärbung (vgl. Vers. 7 ff.) den Besitz von Mineralstoffen an. (Nach Mäule.)

Wenn wir auch nicht im einzelnen die Rolle der Mineralsalze für das Pflanzenleben genau kennen, so wissen wir doch, daß manche derselben zum Leben der Gewächse unentbehrlich sind (vgl. S. 10); der Transpirationsstrom, welcher sich fast ununterbrochen durch den Pflanzenkörper bewegt, ist das Agens, welches die Zellen mit den genannten Nährstoffen versorgt, die sonst nur äußerst langsam und nicht in ausreichender Menge durch Osmose von Zelle zu Zelle wandern könnten. Wie durch den Körper niederer Wassertiere (Muscheln, Spongien, Polypen) ein kontinuierlicher Nahrungsstrom das Ganze passiert, aus dem nur die verdaulichen Stoffe abgesondert werden, so bewegt sich eine Wassermenge, welche im Laufe einer Vegetationsperiode die Pflanzenmasse vielfach an Volumen übertrifft und deren gelöste Bestandteile in den Zellen zurückgehalten werden, beständig von den Wurzeln bis in die Blätter und Stengelspitzen, um von da als Wasserdampf zum größten Teil an die Atmosphäre abgegeben zu werden. Wenn hierin die Bedeutung des Transpirationsstromes besteht, so wird es uns nicht wundernehmen, wenn wir an Pflanzen feuchter Standorte, an welchen die Verdunstung naturgemäß eine geringere ist, statt der Schutzmittel gegen zu starke Transpiration Förderungsmittel derselben erblicken. Solche Pflanzen entbehren zum Beispiel des Haarkleides an ihren Blättern, ihre Spaltöffnungen sind nicht, wie öfters bei den Xerophyten, unter das Niveau der Blattoberfläche eingesenkt, sondern, auf kleinen Erhebungen stehend, über dasselbe emporgehoben, um immer dem Einflusse der Luftbewegung ausgesetzt zu sein.

101. Vers. Tauche Blätter verschiedener Pflanzen unter Wasser. Einige derselben werden beim Herausziehen an der ganzen Oberfläche mehr oder minder benetzt sein (*Sanicula europaea* u. a.), während andere selbst nach längerem Verweilen in Wasser beim Herausnehmen trocken sind oder nur einzelne Tröpfchen auf sich hängen haben, die sehr leicht heruntergeschnellt werden können (*Tropaeolum*, *Echeveria* und andere); sie sind eben nur schwer benetzbar und ihre Oberfläche zeigt sich unter Wasser von einer silberglänzenden Luftschicht überzogen, die dem Wasser den Zutritt zum Blatte verwehrt. (Wiesner.)

In der Regel sind es die Pflanzen feuchter Standorte (Hygrophyten), welche leichter benetzbar sind und sich dadurch von den „Xerophyten“ unterscheiden (vgl. Seite 46). Man hat den Umstand, daß das (Regen-) Wasser sich auf ihrer Oberfläche in dünner Schicht gleichmäßig ausbreitet, als ein Förderungsmittel der Transpiration aufgefaßt, indem dadurch die Wassermasse, die das Blatt bedeckt, leicht und rasch verdunsten kann. Außerdem hat man gefunden, daß die durch diese Benetzung etwas anquellenden Blätter stärker transpirieren als trocken gebliebene.

Die Auffassung des Transpirationsstromes als eines Transportmittels für Nährstoffe läßt auch die Bedeutung des folgenden Versuches erkennen:

102. Vers. Ein beblätterter Zweig wird abgewogen, hierauf einige Stunden unter Wasser getaucht, sodann sorgfältig mit Fließpapier abgetrocknet und wieder gewogen. Er zeigt eine Gewichtszunahme von nur einigen Prozenten.

Die Blätter sind also wohl imstande, Regenwasser mit ihrer Oberfläche aufzunehmen; aber diese Menge ist eine sehr geringfügige und vor allem: sie enthält keine Mineralsalze. Das direkte Regenwasser ist für die Pflanze kein Nährwasser; nur das Bodenwasser, das von den Wurzeln aufgenommen wird, kann die Pflanze mit den notwendigen mineralischen Nährstoffen versorgen, die Transpiration aber liefert die Kraft, die Aschenbestandteile entgegen der Richtung der Schwere bis in die höchsten Wipfeln emporzuschaffen. Eine gewisse Ausnahmestellung nehmen unter den einheimischen Landpflanzen die Moose dadurch ein, daß sie ihren Wasserbedarf gerade aus den Niederschlagswässern decken, in welchen sich sodann die Staubteilchen, welche mit den Winden auf die Moospflanze gelangen, zum Teil auflösen; auf diese Weise nehmen die genannten Pflanzen ihr Nährwasser mit den oberirdischen Organen auf.

Auch die baumbewohnenden Moose sind für diese Art der Wasserversorgung eingerichtet; ebenso besitzen viele andere „Überpflanzen“ (Epiphyten), die sich mit ihren Würzelchen in den die Baumborke durchziehenden Rissen festklammern, eigenartige Einrichtungen zur raschen Aufsaugung des Regenwassers, da es für solche Gewächse begreiflicherweise eine Lebensfrage ist, ob sie den schnell abfließenden Regen auffangen können oder nicht.

Richtung der Wasserbewegung.

Nach dem Gesagten ergibt sich also, daß, solange die Pflanze transpiriert, ein „aufsteigender Wasserstrom“, beladen mit Mineralstoffen, sich von der Wurzel bis zu den Blättern aufwärts bewegt.

103. Vers. Ein etwa 1 *m* langer Blätterzweig von *Ampelopsis* wird mit dem Gipfel in Wasser gesteckt, während die in der

Luft befindlichen Blätter — vorausgesetzt ist ein sonniger, heißer Tag und eventuell Wind — stark transpirieren.

In diesem Falle beginnt der Sproßgipfel selbst unter Wasser schlaff zu werden, er welkt, da er offenbar weniger Wasser aufnehmen kann, als ihm von den Blättern durch Transpiration entzogen wird. Dergestalt kann also die Wasserbewegung ihre Richtung unter Umständen umkehren. („Absteigender Wasserstrom" nach Wiesner.)

Nun müssen aber auch die Zellen neben den Wasserleitungsgeweben des Stammes und der Blätter ihren Wasser- und Mineralstoffbedarf decken, so daß notwendigerweise auch in seitlicher Richtung Verschiebungen des Wassers vorausgesetzt werden müssen, ohne daß hierfür besondere Organe vorhanden wären.

104. Vers. Junge vertikale Sprosse der Roßkastanie, welche noch in Entwicklung begriffen und deren Blätter höchstens 10 *cm* lang sind (etwa Ende April), werden abgeschnitten und mit der Schnittfläche in nassen, stets gut begossenen Sand (oder in Wasser) gesteckt. Die Versuchspflanzen werden an einem Südfenster so aufgestellt, daß die gekreuzt-gegenständig angeordneten Blätter zum Teil rechts und links, zum Teil vorn und hinten (im Vergleiche zum Fenster) am Stamme stehen. Es erhalten demnach die rechts- und linksstehenden Blätter je gleichviel Sonnenlicht, während die vorderen Blätter viel stärker als die beschatteten hinteren Blätter beleuchtet sind.

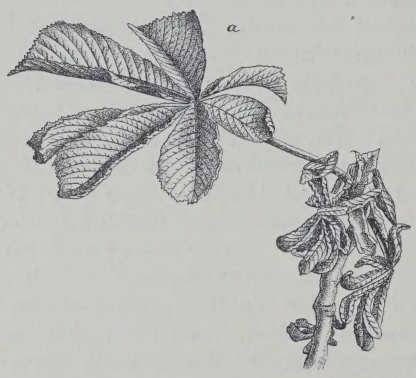


Fig. 23. (Nach Wiesner.)

Die schwächer beleuchteten Hinterblätter welken und vertrocknen schließlich (Fig. 23), während die stärker besonnten Vorderblätter (*a*) sich kräftig entwickeln. Zwar transpirieren letztere viel stärker (vgl. Vers. 72), aber sie entziehen das ihnen nötige Wasser nicht nur dem Stamme, beziehungsweise dem aufsteigenden Transpirationsstrome, sondern decken ihren großen Wasserbedarf auch aus den schwächer beleuchteten Hinterblättern, aus welchen das Wasser nach dem Orte des Verbrauches hinströmt. („Korrelative Transpiration" im Sinne Wiesners.)

Aufgaben.

1. Bestimme die Transpirationsgrößen verschiedener Gewächse (nach der Methode des Vers. 68), auf 1 dm^2 bezogen.

2. Vergleiche die Transpirationsgrößen einer immergrünen Pflanze im Sommer und im Winter miteinander. (Verwende hierzu gleich schwere Zweige; vgl. Vers. 68 oder 82.)

3. Ermittle ebenso (Vers. 68) die Transpiration eines zuerst beblätterten und nach Beendigung des Versuches entblätterten Zweiges eines Holzgewächses (nachdem die „Wunden" mit Klebwachs oder Vaselin verschlossen wurden).

4. Berechne die von der Flächeneinheit und die von der Gesamtoberfläche aller Blätter einer Versuchspflanze (zum Beispiel Tabak) abgegebene Wassermenge im Laufe eines Tages und durchschnittlich für die ganze Vegetationsperiode (vgl. S. 50).

5. Vergleiche letztere Wassermenge mit dem Volumen der Versuchspflanze (indem ein Meßzylinder mit Wasser bis zu einer Marke gefüllt und die zerkleinerte Pflanze darin untergetaucht wird, steigt die Flüssigkeit annähernd um das Volumen der Pflanze).

6. Untersuche, ob die Spaltöffnungen von *Hydrangea-*, *Saxifraga sarmentosa-* und anderen Blättern im Winde offen oder geschlossen sind (Vers. 68, 3).

7. Versuche die Wasserabgabe aus Lentizellen der Birken- oder Kirschenrinde mittelst Kobaltpapiers (Vers. 68, 3) nachzuweisen und ihre Größe zu ermitteln.

8. Stelle mit der Wage den Gewichtsverlust eines transpirierenden Apfels fest; suche die die Verdunstung einschränkende Wirkung der mit einem Wachsüberzuge versehenen Oberhaut zu bestimmen (Vers. 78, 1).

9. Wiederhole die Versuche über die Einwirkung äußerer Einflüsse (Vers. 69—72) auf die Transpiration mit dem in Vers. 82 angegebenen Apparat.

10. Ermittle mit demselben Apparat die Wasseraufnahme einer bewurzelten Pflanze (zum Beispiel Weide) bei verschiedenen Temperaturen. (Eisstücke in das Wasser einwerfen.)

11. Transpirieren unsere Nadelhölzer auch im Winter? Warum sind ihre Blätter xerophytisch ausgebildet? (Vgl. Vers. 82, 85 und S. 46.)

12. Versuche eine in kaltem Boden welkende Pflanze durch Erwärmen des Topfes wieder frisch zu machen (Vers. 85).

13. Versuche die gesamte Arbeitsleistung zu berechnen, welche nötig ist, um die von einer 15 m hohen Birke täglich verdunstete Wassermenge (benütze die Angaben auf S. 50) von einem Arbeiter in einem Kübel mittelst einer einfachen Rolle bis zur höchsten Spitze des Baumes emporzuheben.

14. Bestimme die Schnelligkeit des Transpirationsstromes durch Ermittlung der Strecke, welche Eosinlösung in einer Stunde im Stamme zurücklegt (Vers. 90).

15. Wiederhole den Vers. 90 mit zwei möglichst gleich aussehenden Lindenzweigen, deren einer frei, deren anderer in einem feuchten Raume aufgestellt ist (oder in diffusem und im Sonnenlichte), nach etwa einer halben Stunde.

16. Ist das „Blutungswasser“ reines Wasser? (Vgl. die Untersuchungsmethoden der Vers. 7—15 und Vers. 95.) Bestimme die stündlich ausgeschiedene Menge desselben.

17. Untersuche die Formen der Nervatur verschiedener Blätter (vgl. S. 56), nachdem sie auf photographisches Papier kopiert worden sind (die Oberseite muß dem Papier anliegen).

18. Lasse Blätter, Rüben oder dicke krautige Stengel in Wasser verfaulen, bis das Gefäßbündelnetz frei gelegt wird.

19. Auch in Früchten kommt ein Gefäßbündelnetz zum Zwecke der Wasserversorgung zur Ausbildung; untersuche es bei der als Badeschwamm in den Handel kommenden *Luffa*.

20. Bestimme den Schneedruck (das Gewicht des Schnees), welchem zwei etwa gleich lange Zweige eines sommergrünen und eines wintergrünen Holzgewächses ausgesetzt sind (S. 61).

Die Kohlenstoffernährung der Pflanze.

Es ist nun an der Zeit, die Herkunft des Kohlenstoffes, die wir bis jetzt in Frage gelassen haben, zu ermitteln, um so mehr, als gewisse Mineralsubstanzen zwar zum Leben der Pflanzen auch unumgänglich nötig, aber nur in sehr geringer Menge vorhanden sind, während der Kohlenstoff rund die Hälfte der Trockensubstanz der Pflanze ausmacht. In etwa 100 Zentner Trockensubstanz eines Baumes sind also 2500 *kg* Kohlenstoff vorhanden. Gerade der Kohlenstoff ist es, welcher die schier unendliche Anzahl und Mannigfaltigkeit der organischen (verbrennbaren) Verbindungen des Pflanzenleibes (und des Tierkörpers) erzeugt. Er verdankt diese Fähigkeit der sogenannten Vierwertigkeit seines Atoms, welche alle ersinnbaren Kombinationen seiner Verbindung mit anderen Elementen ermöglicht. Wir haben einige wenige Beispiele der speziell im Pflanzenkörper auftretenden allerwichtigsten dieser Verbindungen bereits kennen gelernt. Der Kohlenstoff baut auch das Lebende in der Zelle, das Protoplasma, auf und ohne ihn können wir uns organisches Leben gar nicht denken. Die auffallend große Menge des Kohlenstoffes ist in der Pflanze zudem noch in höchster Gleichmäßigkeit verteilt, so daß z. B. verkohltes Holz noch alle Struktureigentümlichkeiten des frischen beibehält.

Die Kohlenstoffquelle.

Als Kohlenstoffquellen kommen, wie wir schon gesehen haben, der Erdboden und die Luft in Betracht.

Im Erdboden tritt *C* entweder als kohlensaures Salz (Karbonat) auf oder in organischer Form in den durch Verwesung entstandenen Substanzen des die obersten Erdschichten durchsetzenden Humus. Die Beobachtung, daß gerade auf humusreichem Boden die Vegetation zu üppigerer Ausbildung gelangt als in humusarmem Erdreiche, legte die von dem berühmten Chemiker Liebig aufs eifrigste verfochtene Anschauung nahe, daß der reiche Kohlenstoffgehalt humöser Böden die ergiebige Quelle für den Kohlenstoffbezug seitens der Pflanze abgebe. Dieser Ansicht gegenüber kann eingewendet werden, daß der Humus ja selbst nur ein Produkt verwester Pflanzen darstelle, also mindestens nicht als letzte Kohlenstoffquelle der Pflanzen in Betracht kommen könne.

Was den Gehalt der atmosphärischen Luft an Kohlenstoff anlangt, so käme die relativ geringe Menge von nur etwa 0·033 Volumprozenten an gasförmigem Kohlendioxyd (CO_2) in Betracht. Dieses Quantum erschien aber den Anhängern der Liebigschen Lehre als zu verschwindend, um daraus den großen Reichtum der Pflanze an *C* erklären zu können. Enthalten danach doch 10.000 *l* Luft nur etwa $3^1/_3$ *l* CO_2 (im Gewichte von $6^2/_3$ *g*), wovon wieder nur ein Teil des Gewichtes dem *C* zukommt, nämlich etwa $^3/_{11}$, das ist rund 2 *g*.

In diesem Dilemma kann uns nur das Experiment die Entscheidung liefern. Der Grundgedanke des im folgenden zu beschreibenden Versuches besteht darin, die Pflanze mit Ausschluß aller Kohlenstoffverbindungen, welche sie durch die Wurzeln aufnehmen könnte, zu kultivieren. Wenn sie dennoch wächst, dann ist der Beweis erbracht, daß die Kohlenstoffquelle und die Organe der *C*-Aufnahme anderswo zu suchen sind.

105. Vers. Wir haben diesen Versuch eigentlich schon ausgeführt, indem wir Pflanzen in der Seite 9 angegebenen Nährstofflösung kultivierten, welche *C*-frei ist.

Wenn in dieser Lösung eine Pflanze zum Blühen, sogar zum Fruchten gebracht werden kann, wenn sie darin an Gewicht zunimmt, so zeigt dieser Erfolg auf das schlagendste, daß weder die Karbonate noch die einfachen organischen Verbindungen des Humus den Kohlenstoff zum Aufbau der organischen Pflanzenstoffe wie Kohlehydrate, Fett, Eiweiß etc. liefern, daß vielmehr der gesamte, so beträchtliche Kohlenstoffgehalt der Pflanze nur aus dem Kohlendioxyd der Luft stammen kann. (Vgl. Vers. 25, 2.)

Man muß zugeben, daß dieses Ergebnis wohl befremden kann. Ein 100 Zentner schwerer Baum müßte nach unseren früher gemachten Angaben aus etwa $12^1/_2$ Millionen Kubikmeter Luft den gesamten *C*-gehalt herausnehmen, um seinen Bedarf zu decken. Doch verliert dieses Rechnungsresultat seinen verblüffenden Charakter, wenn wir bedenken, daß das von der Pflanze aufgenommene CO_2 überall in der Luft fast gleichmäßig verteilt ist und jederzeit wiederum, und zwar sofort, nachströmt, daß also der Pflanze eigentlich der CO_2-Gehalt der ganzen Atmosphäre zur Verfügung steht. Letzterer beträgt aber nach Berechnungen nicht weniger als 3000 Billionen Kilogramm, welchen eine Menge von 800 Billionen Kilogramm reinen Kohlenstoffes entspricht. Weiter ist zu bedenken, daß den CO_2 konsumierenden Pflanzen auch ein Heer von CO_2-Produzenten gegenübersteht, welche ununterbrochen — durch Atmung — CO_2 an die Luft abgeben, die Tiere und die Menschen. (Vgl. Aufgabe 6; über das Verhalten der Pflanzen vergl. noch „Atmung“.)

Dazu kommen ferner Ausströmungen dieses Gases aus Erdspalten vulkanischer Gebiete, auch liefern die gewaltigen Ver-

brennungsprozesse unserer Industrie keinen zu vernachlässigenden Zuschuß.

Wenn nachweislich Pflanzen in humusreichem Boden (z. B. in schwarzer Wald- oder Wiesenerde) besser als in humusfreier Erde gedeihen, so sind die direkten Gründe hierfür nicht in den chemischen Verhältnissen desselben zu suchen, sondern in seinen physikalischen Eigenschaften gelegen, von welchen uns bereits die Absorptionsfähigkeit für gewisse Nährstoffe bekannt geworden ist. (Vgl. Vers. 55.)

106. Vers. Bestimme die Temperatur, welche ein Thermometer in schwarzer Erde und in gewöhnlicher Ackererde bei Besonnung derselben annimmt.

Die höhere Erwärmungsfähigkeit schwarzer, humusreicher Böden ist ein zweiter physikalischer Faktor, der die Wurzeltätigkeit der Pflanze und damit ihr Gedeihen günstig beeinflußt.

In chemischer Beziehung ist der Humus nur deshalb wichtig, weil die zahlreichen organischen und unorganischen Substanzen desselben allmählich durch verschiedene Zersetzungsvorgänge in eine für die Ernährung der meisten Pflanzen geeignete Form übergeführt werden. (Vgl. S. 92.)

Die Richtigkeit unserer Behauptung, daß die Luft als Kohlenstoffquelle der grünen Pflanze zu betrachten ist, wird durch verschiedene andere Versuche entschieden bestätigt. So läßt sich direkt nachweisen — was für uns allerdings zu schwierig ist — daß Pflanzen, in einem abgeschlossenen Luftraume von bekannter Zusammensetzung wachsend, in diesem eine Verminderung des CO_2-Gehaltes herbeiführen, was eben direkt die Aufnahme dieses Gases seitens der Pflanze beweist.

Daß die Gegenwart von CO_2 in der Luft die Bildung der organischen Substanzen im Gefolge hat, haben wir bisher aus dem tatsächlichen Gedeihen der Pflanze erschlossen. Wir können aber auch direkt durch Wägung die Zunahme an den genannten C-hältigen Stoffen feststellen. Der Plan des Experiments ist folgender.

Die Assimilation des Kohlendioxyds.

107. Vers. Bestimme das Trockengewicht einer kleinen Menge Samen von Mais (oder Bohnen), ferner ihren Aschengehalt und berechne daraus den Durchschnitt. Kultiviere solche Samen in Sägespänen und übertrage sie dann in Nährstofflösung (Vers. 19). Nach etwa fünf Wochen, während welcher sie sich im Lichte entwickelt haben, werden sie herausgenommen und (der Einfachheit halber) an einem Exemplar das Gewicht der getrockneten und hierauf das der veraschten Pflanze ermittelt (a). Derselbe Versuch ist mit Maispflanzen (oder Bohnenpflanzen) zu wiederholen, welche während der gleichen Zeitdauer im Dunkeln (zum Beispiel unter einem Sturze) gewachsen waren (b).

Während der Aschengehalt in beiden Fällen (a und b) ungefähr gleich dem der Samen geblieben ist, hat sich die Menge

der verbrennbaren Substanz bei den Lichtpflanzen (*a*) gegenüber den Samen ungemein vermehrt; bei den Dunkelpflanzen (*b*) hingegen ist ein oft beträchtlicher Verlust an organischen Stoffen festzustellen: Die grüne Pflanze kann also nur im Lichte organische Stoffe erzeugen und ihre Masse vergrößern, während im Dunkeln Substanzverlust eintritt. (Vgl. „Atmung".)

Man nennt den Prozeß der Bildung organischer Kohlenstoffverbindungen aus dem CO_2 der Luft: Assimilation des Kohlendioxyds (auch kurzweg, aber ungenau, Assimilation). Dieser Prozeß, ohne den die grüne Pflanze auf die Dauer nicht zu existieren vermag, auf dessen Verlauf demnach das Leben der Pflanze beruht, besteht in einer Wechselbeziehung zwischen Pflanze und Atmosphäre. Schon lange vorher, bevor man das Wesen der CO_2-Assimilation erkannte, hat man solche Beziehungen aufzufinden gesucht, durch die Erscheinungen des tierischen und menschlichen Gaswechsels hierzu angeregt. So war es zum Beispiel schon bekannt, daß untergetauchte Pflanzenblätter sich mit Luftbläschen bedeckten. Doch hielt man die Erscheinung des Interesses nicht wert, bis der Scharfblick des genialen holländischen Arztes Jan Ingen-Housz hierin ein der Untersuchung harrendes Problem von Bedeutung erkannte, das er auch soweit als möglich zu lösen verstand (in den siebziger Jahren des 18. Jahrhunderts). Es ist gewiß nicht leicht, den unsichtbaren Vorgang des Gasaustausches zwischen Pflanze und Luft zu verfolgen. Um so bewunderungswürdiger muß es erscheinen, daß Ingen-Housz zu Resultaten kam, die heute noch die Grundlage unserer Kenntnisse über diesen Gaswechsel abgeben.

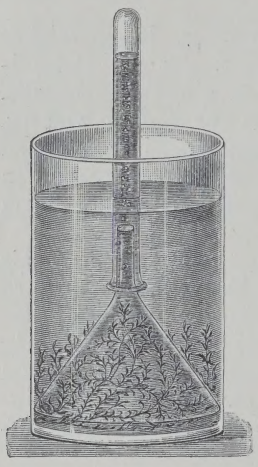


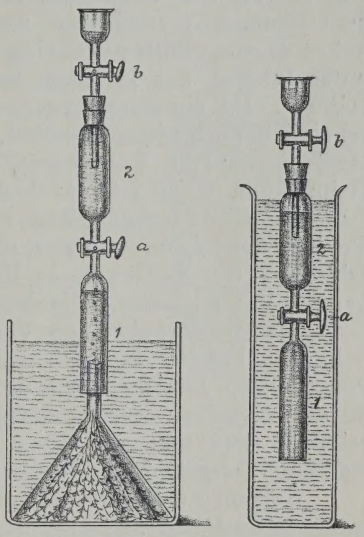
Fig. 24.

Sauerstoffausscheidung.

Er untersuchte vor allem die Natur des abgeschiedenen Gases.

108. Vers. 1. Wir verwenden am besten Wasserpflanzen (vgl. Aufgabe 1), deren ausgeschiedenes Gas unter Wasser in Blasen aufsteigt und sich ansammelt. Eine Anzahl von Stämmchen der *Elodea densa* (oder *E. canadensis*, *Myriophyllum* u. a.) wird an der Basis scharf durchschnitten und mit diesem basalen Ende nach aufwärts unter einen großen Trichter mit kurzem Halse gebracht, welcher in ein Gefäß verkehrt eintaucht (Fig. 24), so daß der weite Teil nach unten und das Trichterrohr nach oben schaut. Mittelst Draht kann der Trichter in aufrechter Lage am Rande des Gefäßes festgehalten werden. Das Gefäß wird mit Wasser gefüllt, das einige Zentimeter über das Rohrende reicht.

Durch das Wasser leitet man vorteilhaft vor dem Einstellen der Pflanzen CO_2-Gas, das man nach Anleitung des Vers. 110 herstellt. Das Kulturwasser soll dabei auf eine höhere Temperatur erwärmt werden, als es während des Versuches annehmen kann (denn sonst würde außer dem von den Pflanzen ausgeschiedenen Gase auch noch ein Teil des eingeleiteten CO_2 entweichen). Hierauf füllt man ein Proberöhrchen ebenfalls ganz mit Wasser und taucht sein unteres Ende, während man es mit dem Daumen verschlossen hält, unter das Wasserniveau des großen Gefäßes, entfernt den Daumen und schiebt es mit der Mündung über das Trichterrohr. Es darf dabei keine Luftblase in das Proberohr eindringen, vielmehr muß dieses ganz mit Wasser gefüllt bleiben. In dieser verkehrten Stellung wird das Proberöhrchen vertikal befestigt, indem man z. B. über den Trichterhals einen 2—3 *cm* langen Kautschukschlauch und darüber eine Eprouvette von passender Weite schiebt. Der Apparat wird sodann in helles Licht gebracht. Am besten gelingt der Versuch im Sommer.



1. 2.

Fig. 25.

Aus den nach oben gekehrten Schnittflächen der Stengel treten Gasblasen aus, welche sich im oberen Ende des Proberöhrchens ansammeln. (Sollten nur wenige Gasblasen austreten, so kann man die Schnittfläche mit einer Nadel zerstechen, um durch Auflockern des Gewebes den Gasaustritt zu beschleunigen.) Dieses wird hierauf unter Wasser wieder vom Trichter abgehoben, mit dem Daumen verschlossen und in dieser verkehrten Stellung aus dem Wasser herausgezogen. Unterdessen hat man einen langen, dünnen Holzspan entzündet und die Flamme desselben ausgeblasen; den jetzt nur noch glimmenden Span taucht man nun rasch in die umgekehrte und geöffnete Proberöhre ein: der Span wird heller glimmen oder gar in Flammen ausschlagen.

109. Vers. (Fig. 25.) Statt eines einfachen Proberöhrchens benützen wir eine Eprouvette (*1*), welche durch ein enges, mittelst Hahn (*a*) verschließbares Rohr in einen etwas erweiterten Behälter (*2*) führt, der an seinem oberen Ende einen einfach durchbohrten Pfropfen als Verschluß trägt. Durch dessen Bohrung geht ein Rohr mit Hahn (*b*), welches oben in einen kleinen Trichter endigt.

Vor Beginn des Versuches wird (bei geschlossenem Hahne *a*) *2* mit entfärbter Indigolösung (vgl. Vers. 25, 3) vollgefüllt, sodann der Pfropfen mit dem Trichterrohre bei geöffnetem Hahne (*b*) eingesetzt; es wird etwas Indigolösung über den Hahn (*b*) emporsteigen, der sodann gesperrt wird. Das Trichterrohr soll etwa bis zur Mitte von *2* hinabreichen.

Jetzt dreht man die Eprouvette um, füllt *1* mit Wasser und setzt es unter Wasser — wie im vorigen Versuche — auf das Rohr des mit Wasserpflanzen gefüllten großen Trichters auf. Das ausgeschiedene Gas sammelt sich zunächst im oberen Ende von *1*. Um es von hier nach *2* zu bringen, wird *1* unter Wasser mit dem Daumen verschlossen und die ganze Vorrichtung in ein hohes wassergefülltes Glas eingetaucht (Abb. *2*) und hier erst wieder unter Wasser der Daumen entfernt. Sodann öffnet man den Hahn *a*. Da die Spannung des in *1* angesammelten Gases wahrscheinlich noch nicht ausreicht, um dieses aufsteigen zu machen, tauchen wir die Vorrichtung in dem Zylinderglase bis zum Hahn *b* und öffnen jetzt auch diesen. Nun steigen Blasen empor. Dadurch wird Indigolösung aus *2* verdrängt und im kleinen Trichter aufsteigen, während sich *1* ganz mit Wasser füllt. Jetzt schließen wir wieder beide Hähne und ziehen die Eprouvette heraus. Die entfärbte Indigolösung ist nun wieder blau geworden.

Wir wiederholen den Versuch auch im Dunkeln.

2. Man bereitet Indigolösung (Vers. 25, 3) und außerdem eine konzentrierte Lösung von saurem schwefligsauren Natron. Etwa 30 cm^3 derselben werden durch fünf Minuten mit Zinkstaub geschüttelt und nun die Säure durch vorsichtiges Zugießen von Kalkmilch abgestumpft. Jetzt läßt man absetzen bis zur Klärung.

Gibt man einige Tropfen der abgegossenen klaren Flüssigkeit in die Indigolösung, so wird diese, wie wir wissen, entfärbt. Gehen wir hierbei vorsichtig zu Werke, indem wir nur so viel zugießen, daß die Entfärbung gerade erst eintritt, so wird die entfärbte Indigolösung dort, wo sie der Luftsauerstoff berührt, alsbald wieder blau.

Wir füllen mit der Indigolösung eine etwa 200—300 cm^3 haltende Flasche mit eingefettetem Glasstöpsel bis zum Rande voll, entfärben sie vorsichtig wie oben; sollte sie oberflächlich wieder blau werden, so entfärben wir nochmals und stöpseln die Flasche sofort zu.

Vorher haben wir einen an einen Glasstab gebundenen Moospolster oder ein zusammengebundenes Algenbündel in die Flasche versenkt.

Bleibt die Vorrichtung im Dunkeln stehen, so verfärbt sich die Flüssigkeit nicht. Im Lichte aber steigen von den grünen Pflanzenteilen blaue Schlieren auf (Bejerinck).

Aus unseren Versuchen geht unzweifelhaft die Tatsache hervor:

Grüne Pflanzen scheiden im Lichte Sauerstoff aus. Es ist nur die Frage, ob dieser Prozeß mit der Assimilation des Kohlendioxyds zusammenhängt und nicht vielleicht unabhängig davon vor sich geht. Wir werden daher festzustellen suchen, ob die Sauerstoffbildung von der Menge des zur Verfügung stehenden CO_2 abhängt oder nicht.

Doch wollen wir uns hierbei einer etwas abgeänderten Methode bedienen.

Einfluß äußerer Verhältnisse.

110. Vers. An einen Glasstab binden wir eine der in Vers. 108 genannten Pflanzen, z. B. eine kräftige *Elodea densa*-Pflanze, verkehrt an, nachdem wir an derselben eine scharfe, frische Schnittfläche angebracht haben, welche eventuell zur Beförderung des Blasenstromes zerstochen wird. Der Glasstab steht in einem mit Wasser bis über das Stengelende hinauf gefüllten Zylinder (siehe den inneren Zylinder in Fig. 26). Das Wasser soll die Temperatur des Versuchsraumes haben.

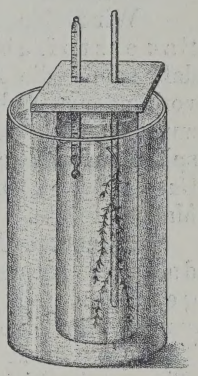


Fig. 26.

Bringen wir den Apparat in helles Licht, so treten aus der Schnittfläche Blasen — Sauerstoffbläschen — auf. Nach einiger Zeit, während die Helligkeit des Lichtes unverändert bleibt, wird der Blasenstrom gleichmäßig, d. h. zwischen der Bildung zweier Gasbläschen verstreicht etwa gleich viel Zeit (oder binnen gleichen Zeiträumen steigen gleich viele Bläschen empor). Erst wenn der Blasenstrom gleichmäßig wird, beginnen wir die folgenden Versuche.

Da es umständlicher ist, CO_2-freies Kulturwasser darzustellen, ziehen wir es vor, die in einer bestimmten Zeit in gewöhnlichem Leitungswasser entwickelte Anzahl von Gasblasen mit der in einem an CO_2reicheren Wasser entstandenen Blasenzahl zu vergleichen.

Zur Anreicherung mit CO_2 leitet man etwa 5—10 Minuten CO_2-Gas in das Wasser ein. Man stellt dieses Gas in einer „Gasentwicklungsflasche“ — bequemer ist ein sogenannter „Kippscher Apparat“, siehe Anhang — (vgl. die linke Flasche in Fig. 4) her, indem man grob zerstoßenen Marmor (eventuell ungebrannten Kalk oder Kreidestücke) mit verdünnter Salzsäure übergießt, die man durch ein bis fast auf den Boden reichendes Trichterrohr einfüllt; das sich entwickelnde Gas entweicht durch das Gasableitungsrohr, welches unmittelbar unterhalb des Pfropfens beginnt und im rechten Winkel umgebogen ist. An die äußere Mündung wird ein kurzer Kautschukschlauch gesteckt, der in ein langes Glasrohr führt, welches durch einen doppelt durchbohrten Kork bis fast auf den Boden einer Waschflasche

(vgl. Fig. 3) reicht. Aus dem Korke führt (wie bei der Entwicklungsflasche) ein kurzes, rechtwinklig gebogenes Glasrohr heraus. Diese Flasche wird mit einer Lösung von doppeltkohlensaurem Natron gefüllt. Wenn das entwickelte Gas durch diese Lösung hindurchgeht, entweicht es, von der mitgerissenen Salzsäure befreit, durch das kurze Rohr und wird jetzt erst in das Kulturwasser eingeleitet, dessen Temperatur (wie in Vers. 108) höher als während des eigentlichen Versuches sein muß.

Einfacher ist die Zufuhr von CO_2, wenn man Selterswasser oder Siphon (Sodawasser) in das erwärmte Kulturwasser eingießt.

Jetzt erst wird die Versuchspflanze eingesetzt.

Wir finden, daß in CO_2-reicherem Wasser lebhaftere Sauerstoffabscheidung auftritt als in CO_2-armem Wasser, daß somit die Entstehung von Sauerstoff mit der Menge des vorhandenen Kohlendioxyds zusammenhängt. Man hat in Ergänzung hierzu auch festzustellen vermocht, daß in einer Atmosphäre, welche einen größeren Prozentgehalt an dem genannten Gase aufweist, auch die Bildung organischer Substanz in erhöhtem Maße erfolgte.

Genauere Untersuchungen haben zu dem Ergebnisse geführt, daß die Menge des aufgenommenen CO_2 der abgegebenen O-Menge ungefähr gleich ist. Diesem Umstande trägt eine Vorstellung Rechnung, welche sich die genannte Tatsache höchst einfach so erklärt, als ob der von den grünen Pflanzen im Lichte abgegebene Sauerstoff direkt aus dem aufgenommenen CO_2-Molekül abgespalten und an die Atmosphäre zurückgegeben würde, während C in der Pflanze zurückbleibt. Die Assimilation stellt demnach, chemisch ausgedrückt, einen Reduktionsvorgang dar. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die Temperatur nicht ohne Einfluß auf diesen Prozeß sein wird.

111. Vers. (Fig. 26) Der bisher benützte Kulturzylinder wird in der Art der Figur mit dem die Versuchspflanze tragenden Glasstabe und einem Thermometer beschickt und in ein größeres Gefäß eingestellt, welches mit Wasser von Zimmertemperatur oder mit durch Eisstücke gekühltem oder endlich mit 30—40° C warmem Wasser gefüllt wird; hierauf wird wie früher die Blasenzahl in dem kalten Wasser bestimmt, sodann die Pflanze mit wärmerem Wasser umgeben und neuerdings beobachtet.

Das Ergebnis berechtigt uns zu folgendem Schlusse:

Höhere Temperatur befördert, niedrigere Temperatur hemmt die Assimilation. Durch zu hohe Wärme (Temperaturmaximum) kann sie aber (sofort oder nach einiger Zeit [Maximowitsch]) ebenso verringert werden wie durch zu niedrige Wärmegrade (Minimum). Es läßt sich aber durch Versuche für jede Pflanze ein Temperaturpunkt (Optimum) finden, bei welchem die Assimilation dauernd am ausgiebigsten vor sich geht. Eine ganz ähnliche Beziehung beherrscht auch die meisten

anderen Lebensvorgänge, für welche ebenfalls drei „Kardinalpunkte“ der Temperatur existieren; sie verlaufen, je nach Pflanzenart und physiologischem Vorgange verschieden, innerhalb gewisser Temperaturgrenzen, welche durch das Maximum und Minimum bezeichnet werden, um bei einer bestimmten mittleren Wärme, dem Optimum, am ausgiebigsten vor sich zu gehen. (Vgl. „Wachstum“.) Es spricht sich hierin ein sehr allgemeines Lebensgesetz aus, dem z. B. auch der Einfluß des CO_2-Gehaltes der Luft auf die Assimilation folgt: Es gibt einen bestimmten Prozentgehalt der Luft an CO_2, bei welchem die Assimilation dieses Gases am besten abläuft, während sie durch ein Weniger oder ein Mehr herabgedrückt wird; zu viel und zu wenig CO_2 bringen der Pflanze nur Nachteil.

Auch der schon früher betonte Zusammenhang zwischen Assimilation und Licht läßt sich mit unserer „Blasenzählmethode“ leicht feststellen. (Aufgabe 9.)

112. Vers. Zähle die Anzahl der Sauerstoffblasen im direkten Sonnenlichte. Stelle ein oder mehrere Blatt Papier als Schattendecke vor und zähle neuerdings. Oder stelle den Versuch einmal nahe dem (Süd-) Fenster auf, das zweitemal ein wenig vom Fenster gegen das Innere des Zimmers abgerückt. Verdunkle die Pflanze möglichst tief. (Will man die im Versuche benützten Lichtstärken miteinander vergleichen, so verwende man die in Vers. 128 angegebene Meßmethode.)

Die Sauerstoffentbindung, also die Assimilation, geht in hellerem Lichte energischer vor sich als bei geringeren Lichtstärken und erlischt in schwachem Lichte und im Finstern vollständig.

Die Rolle der grünen Pflanze im Haushalte der Natur.

Wenn CO_2 auch in optimaler Menge (im Optimum) vorhanden ist, so kann die grüne Pflanze gleichwohl nur dann sich den Kohlenstoff zunutze machen, wenn sie von denjenigen Ätherschwingungen, welche man als Licht bezeichnet, getroffen wird. Erst die Energie des Sonnenlichtes — sei es des direkten oder des in der Atmosphäre zerstreuten diffusen Lichtes — ermöglicht somit die Bildung organischer Substanz seitens der grünen Pflanze. Diese ist es im Vereine mit den Lichtschwingungen der Zentralsonne unseres Planetensystems, welche tierisches Leben und unsere eigene Existenz ermöglicht; denn nur die grüne Pflanze allein besitzt die Fähigkeit, aus Mineralsubstanzen und dem gasförmigen CO_2, also aus unorganischen Stoffen, organische Verbindungen zu erzeugen, welche den pflanzenfressenden und indirekt den fleischfressenden Tieren sowie dem Menschen in letzter Linie als Nahrungsquelle dienen; die Pflanzen sind chemischen Fabriken zu vergleichen, in denen aus den Rohstoffen, welche sie in der Natur vorfinden, alle die Stoffe erzeugt werden, die zur Erhaltung animalischen Lebens auf Erden nötig sind. Verschwänden plötzlich die grünen Pflanzen von unserem Planeten,

so würde mit einem Schlage auch die Tierwelt umkommen müssen. Stellte die Sonne die Aussendung von Lichtstrahlen ein, so müßte die Menschheit untergehen, wenn sie bis dahin nicht gelernt hat, in ihren chemischen Laboratorien künstlich, d. h. ohne Vermittlung der grünen Pflanzen, ganz wie diese aus den unorganischen Rohstoffen ihre Nahrung zu fabrizieren. Vorderhand aber leistet einzig und allein selbst die einfachste grüne Zelle mit Leichtigkeit alles das, was Menschenkunst noch nicht vermag, und hat es geleistet Millionen von Jahren, bevor der Mensch die Erde betrat.

Um zu untersuchen, ob auch die Lichtfarbe von Einfluß auf die Assimilation ist, müssen wir die Pflanzen in einfärbigem Lichte kultivieren.

113. Vers. Wir stellen unser Kulturgefäß (Fig. 26) mit *Elodea* unter einen durchsichtigen Sturz, welcher nur eine bestimmte Lichtfarbe durchläßt. Einen solchen Sturz kann man leicht aus einer Kiste herstellen, deren Holzwände und Boden durch eingekittete Doppelplatten aus Glas ersetzt werden, zwischen welchen gefärbte Gelatinefolien (in photographischen Handlungen zu kaufen) eingeschlossen sind. Außerhalb des Randes der Folien darf natürlich kein weißes Licht eindringen, was durch Überkleben mit schwarzem Papier erreicht werden kann. Oder man stellt zwei Glaszylinder ineinander (wie in Fig. 26), von welchen der innere nicht höher als der äußere sein darf. Den Zwischenraum zwischen den beiden füllt man mit einer Lösung von doppeltchromsaurem Kali oder mit Kupferoxydammoniak, von welchen ersteres die schwächer brechbaren Lichtstrahlen (gelb hauptsächlich), das zweite die stärker brechbaren blauen und violetten Strahlen durchläßt. (Kupferoxydammoniak bereitet man, indem man eine wässerige Kupfervitriollösung mit Ammoniak im Überschusse versetzt.)

Die Gefäße werden mit einem schwarzen Deckel oder, um mehr Licht durchzulassen, mit einer Kristallisierschale bedeckt, welche dieselbe Flüssigkeit wie der äußere Zylinder enthält. Sollte der innere Zylinder infolge des Auftriebes emporsteigen, so muß er vorher mit Schrot und anderem beschwert werden.

Die Zahl der Gasblasen ist im gelben Lichte größer als im blauen: die Assimilation geht am stärksten im weniger brechbaren Teile des Spektrums vor sich.

Die Bedeutung des Chlorophylls.

Für das volle Verständnis der Assimilation ist es wichtig zu untersuchen, ob für diese Tätigkeit eigene Organe vorhanden sind oder ob jedem Teile der Pflanze die Fähigkeit der Erzeugung organischer Substanz zukommt. Der Umstand, daß das Licht dabei von so unmittelbar entscheidender Wirkung ist, läßt die Vermutung aufkommen, daß die Reduktion des Kohlendioxyds wahrscheinlich auf die oberirdischen Teile der Pflanze beschränkt ist. Von diesen kommen für den oben besprochenen

Gaswechsel als am geeignetsten die flächenförmig entwickelten Blätter in Betracht, was schon Malpighi (17. Jahrhundert), der Begründer der wissenschaftlichen Pflanzenanatomie, allerdings als bloße Vermutung, aussprach.

114. Vers. Statt der *Elodea*-Sprosse füllen wir Wurzeln oder die weißen Spreitenteile panaschierter Blätter *(Acer Negundo)* oder Hutpilze in das Gefäß, das unter denselben Bedingungen wie in Vers. 108 aufgestellt wird.

Nichtgrüne Pflanzen und Pflanzenteile scheiden keinen O aus, assimilieren also nicht; nur das grüne Laubblatt (und grüne Stengel) ist zur Verarbeitung des CO_2 befähigt. Mikroskopische Versuche zeigen, daß nur die grüne Zelle, und in dieser wieder nur ein Teil, die grüngefärbten Chlorophyllkörper, welche meist in Gestalt von rundlichen Körnern im Zellplasma eingebettet sind, assimilieren können. Wir sehen hierin eine bis ins kleinste gehende Arbeitsteilung ausgesprochen; nicht nur jedes einzelne Organ, genauer jedes Gewebe, jede Zelle und jeder Zellbestandteil, hat eine bestimmte Aufgabe zugewiesen, die nur er allein oder nur er in dieser Vollkommenheit auszuführen vermag.

Jetzt wird uns der anatomische Bau des Blattes noch verständlicher

Blattbau und Gaswechsel.

Das Auftreten der Spaltöffnungen am Blatte befördert jedenfalls den Assimilationsgaswechsel ebenso wie die Transpiration (vgl. Seite 44); die Interzellularen, deren Verbindung mit den ersteren uns bekannt ist, gestatten der mit CO_2 beladenen Luft den Eintritt in das Blattinnere bis zu den grünen Assimilationszellen (Fig. 13, *M*). Die Blätter unserer einheimischen Pflanzenwelt sind bekanntlich meist oben dunkler grün als unten; das kommt daher, daß das grüne Gewebe an der Blattoberseite aus dichtstehenden Zellen aufgebaut ist, während es an der Unterseite durch zahlreiche Interzellularen locker gefügt ist. Wir unterscheiden ersteres als Palissadengewebe (Fig. 13, *P*) von dem letzteren, Schwammparenchym genannten Gewebe (Fig. 13, *S*). Das Palissadengewebe wird als das eigentliche und hauptsächliche Assimilationsgewebe angesehen, in dessen Zellen das CO_2 zur Verarbeitung eindringen muß, während der Sauerstoff auf demselben Wege wieder nach außen geschafft wird.

Bei entsprechender Versuchsanordnung muß es also möglich sein, Gasdurchtritt durch eine Zellmembran auch wirklich nachzuweisen.

115. Vers. 1. (Fig. 27.) Von einem ungefähr 20 *cm* hohen, innen etwa 5 *mm* weiten Glasrohre zweigt in der Nähe des oberen Endes ein kurzes Seitenrohr ab [sog. *T*-Rohr], an welches ein Kautschukschlauch mit Quetschhahn angesteckt ist. Das untere Ende des Rohres taucht in Quecksilber, auf die obere Mündung wird mittelst Siegellack luftdicht eine dünne Lamelle

von Birkenperiderm (ohne Risse) aufgekittet. Diese Lamelle bleibt bei dem einen Versuche (Abb. *1*) trocken, während sie beim zweiten Versuche (Abb. *2*) durch einen Filterpapierstreifen von einem höher stehenden Schälchen aus stets naß erhalten wird.

Man saugt nun bei geöffnetem Quetschhahne aus dem Seitenarme Luft aus (sehr vorsichtig, damit ja kein Tröpfchen des giftigen Quecksilbers in den Mund kommt!), bis das Quecksilber in beiden (gleichweit vorausgesetzten) Röhren gleich hoch steht, und schließt die Hähne wieder.

Jetzt sucht infolge der größeren Spannkraft Luft von außen durch die Membranen in die luftverdünnten Röhren einzudringen. Das Quecksilber in der mit feuchter Membran verschlossenen

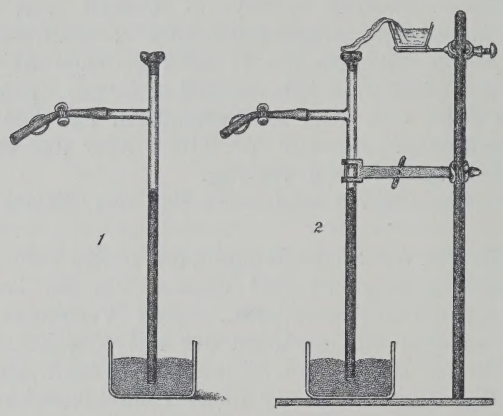


Fig. 27.

Röhre (*2*) sinkt, während sein Stand im anderen Rohre (*1*) annähernd unverändert bleibt (nach Wiesner).

2. Man schneidet aus Hollundermark zwei Plättchen, welche man beide durchlocht. Zwischen dieselben legt man ein abgezogenes Stück einer Kirschenhaut oder ein Blattstückchen von *Tropaeolum*, welches die Öffnung verschließt. Nun schiebt man das untere Hollundermarkplättchen über das Ende des oben benützten Glasrohres, welches in das Loch desselben hineinpaßt, und kittet es mit Siegellack am Rohre fest; auch die Seitenteile beider Plättchen werden mit Siegellack überzogen, so daß das Blatt- oder Hautstückchen luftdicht das Rohr abschließt.

Im übrigen verfährt man wie oben und stellt einen Kontrollversuch an, bei welchem das Hautstück feucht erhalten wird (nach Wiesner).

Die Beobachtung ergibt ganz ähnliche Resultate wie im vorigen Versuche.

Wir müssen daher annehmen, daß Luft (wie andere Versuche gezeigt haben, auch CO_2) durch wassergetränkte Membranen rascher durchtreten kann als durch trockene. Imbibition mit Wasser ist aber in lebenden Zellen stets vorhanden. Das Kohlendioxyd kann die imbibierte Zellwand passieren und verwandelt sich dabei wahrscheinlich in Kohlensäure: $CO_2 + H_2O = H_2CO_3$.

Wie wirksam der Bau des Blattes ist, um eine ausgiebige Aufnahme des in so geringen Mengen der Luft beigemengten CO_2 zu ermöglichen, geht daraus hervor, daß 1 m^2 Blattfläche des Trompetenbaumes (*Catalpa*) $^2/_3$ der CO_2-Menge aufzunehmen vermag wie eine gleiche freie Oberfläche von Kalilauge, die man zur Absorption von Kohlendioxyd benützen kann. Das ist eine gewaltige Leistung, deren Bedeutung wir erst ganz würdigen können, wenn wir die Entwicklung einer beblätterten und einer ihrer Blätter beraubten Pflanze derselben Art miteinander vergleichen:

116. Vers. Wir beschicken zwei große Töpfe mit mehreren *Helianthus*-Samen. Von den daraus erwachsenen Pflänzchen lassen wir in jedem Topfe nur je das kräftigste stehen, die anderen werden ober der Erde abgezwickt. Den einen Keimling lassen wir sich normal entwickeln, vom anderen schneiden wir die jeweilig neu entfalteten Blätter ab, ohne die Endknospe zu verletzen. Die Keimblätter bleiben in beiden Fällen an der Pflanze. Der Versuch ist am besten im Freien durchzuführen (nach Detmer). — Wir stellen dabei einen höchst auffallenden Unterschied in der Entwicklung der beiden Versuchspflanzen fest, der aufs Schlagendste die Rolle und Leistungsfähigkeit des grünen Laubblattes beweist.

Die Produkte der Assimilation:

Von größtem Interesse muß es nun sein, die weitere Verarbeitung des im Chlorophyllkorne abgespaltenen Kohlenstoffes zu erforschen.

Das erste Produkt der CO_2-Assimilation ist noch nicht sicher bekannt. Hingegen kennt man denjenigen Stoff, welcher bei diesem Vorgange als erster sichtbar wird. Indem man nämlich die Verbreitung der Stärke in der Pflanze untersuchte, fand man bei der Behandlung der Gewebe mit Jod in den Chlorophyllkörnern Stärke. Stellt dieses Kohlehydrat die erste sichtbare Wirkung der assimilatorischen Tätigkeit des Chlorophyllkornes vor, dann muß es möglich sein, Stärkebildung unter den uns bekannten Bedingungen der Assimilation hervorzurufen; schließen wir diese Bedingungen aber aus, dann muß die Stärkebildung unterbleiben.

1. Stärkebildung.

117. Vers. 1. Wir bringen eine Topfpflanze (zum Beispiel *Tropaeolum* oder Klee, im Winter Keimlinge von *Sinapis alba* oder *Lepidium sativum*) in eine CO_2-freie Atmosphäre, indem wir sie unter eine Glasglocke stellen, deren abgeschliffener und

eingefetteter Rand auf einer Glasplatte aufsitzt. Um den Verschluß luftdicht zu machen, verstreichen wir die Fugen mit Klebwachs. Der Topf wird vorteilhaft zuerst auf einen umgekehrten leeren Topf als Untersatz aufgestellt (Fig. 28). (Einfacher ist es, die Glocke in eine Schüssel zu stellen, welche bis über den Glockenrand mit Wasser gefüllt wird.)

Im Halse der Glocke befindet sich ein durchbohrter Pfropfen, der ein mit Natronkalkstückchen gefülltes Rohr trägt. Der Natronkalk läßt zwar Luft durchstreichen, hält aber das CO_2 derselben zurück. Die Innenwand der Glocke wird mit einigen Fließpapierstreifen bedeckt, welche mit Kalilauge getränkt sind, eventuell auch noch der Topf in eine Kristallisierschale gestellt, welche sodann mit Natronkalkstücken gefüllt wird.

Fig. 28. (Nach Darwin.)

Die Versuchspflanze darf natürlich in den Blättern noch keine Stärke enthalten. Man erreicht dies (Erklärung siehe S. 81), indem man sie mehrere Tage dunkel stellt und vorsichtshalber auf die unten angegebene Weise prüft, ob das Blatt wirklich stärkefrei ist. Hierauf stellt man den wohlvorbereiteten Apparat in helles, zur Assimilation ausreichendes Licht (am besten ins Freie). Nach mehreren (6—8) Stunden schneidet man ein Blatt ab und prüft es auf Stärke.

Als Kontrollversuch stellt man eine „stärkefreie“ Pflanze unter den Sturz, ohne Natronkalk in die Schale zu geben; auch die mit Kalilauge getränkten Fließpapierstreifen sowie das Ansatzrohr samt dem Korke werden entfernt, die Pflanze also gewöhnlicher CO_2-hältiger Luft ausgesetzt.

2. Die Prüfung auf Stärke (Sachs' Jodprobe) nimmt man folgendermaßen vor: Das zu untersuchende Blatt wird zuerst in Wasser (etwa 10 Minuten) gekocht, bis es schlaff oder weich wird: hierauf kocht man es nochmals in Alkohol (vorsichtig!) auf dem Wasserbade (vgl. Vers. 31, 2) aus, wobei man eventuell den sich verfärbenden Alkohol durch frischen ersetzen kann. (Nicht in der Nähe der Flamme oder in das noch heiße Gefäß nachfüllen!) Das Blatt muß seine grüne Farbe ganz verlieren und weißlich bis bräunlich aussehen. Jetzt überträgt man es in eine dunkelbraune Mischung von einigen cm^3 einer konzentrierten, alkoholischen Jodlösung (vgl. Vers. 25) mit destilliertem Wasser, worin es belassen wird, bis sein Farbenton

sich nicht mehr ändert, legt es sodann in eine weiße Porzellanschale voll Wasser und untersucht es im auffallenden und im durchfallenden Lichte.

Wenn größere Stärkemengen im Blatte vorhanden sind, so zeigt sich jetzt in demselben schon für das freie Auge dunklere, mitunter sammtig braunschwarze Färbung (man lasse sich nicht durch metallisches, dem Blatte außen aufliegendes Jod täuschen), während stärkearme oder -freie Blätter gelblich oder bräunlich aussehen.

Stärkebildung erfolgt nur bei Gegenwart von CO_2 in der umgebenden Luft, wie unsere Versuche zeigen. Selbst wenn den Wurzeln kohlensaure Salze (= Karbonate, Salze der Kohlensäure H_2CO_3) dargeboten werden, während sich die Blätter in einer CO_2-freien Atmosphäre befinden, kann es nicht zur Stärkeerzeugung kommen.

118. Vers. Mache die Jodprobe an einer mehrere Tage im Finstern gestandenen Pflanze, bringe sie hierauf in helles Licht und untersuche sie nach mehreren Stunden neuerdings: im ersten Falle ist keine Stärke vorhanden, im zweiten ist sie nachweisbar.

119. Vers. Ein Stanniolstreifen wird quer über ein stärkefreies (siehe oben) Blatt (zum Beispiel *Tropaeolum*) gelegt, auf die Unterseite übergebogen und leicht festgeklebt oder wie in Fig. 11 befestigt. Nach mehreren Stunden wird die Jodprobe mit dem Blatte gemacht: an der durch den Streifen verdunkelten Stelle hat sich keine Stärke gebildet:

Zur Entstehung der Stärke ist Licht notwendig.

120. Vers. Prüfe ebenso die Assimilationstätigkeit der grünen und der farblosen Teile eines weißpanaschierten Blattes (*Acer Negundo foliis variegatis*):

Nur die grünen Blattpartien bilden Stärke.

Die Stärkebildung hängt von dem Vorhandensein von Chlorophyllfarbstoff ab.

Stärke entsteht somit unter den Bedingungen der Assimilation und ist das erste sichtbare Assimilationsprodukt.

Die schon früher erwähnte Bedeutung der Spaltöffnungen können wir jetzt mit Hilfe der Jodprobe direkt erweisen.

121. Vers. Die eine Hälfte der spaltöffnungführenden Unterseite eines stärkefreien Blattes (Bohnen, *Tropaeolum*) wird mit Vaselin überstrichen. Nach mehrstündiger Assimilation werden die Blätter in kaltes Wasser gebracht, wodurch das Vaselin leicht entfernt werden kann, und der Jodprobe unterworfen. Die Stärkebildung unterbleibt (oder ist nur gering) selbst bei ausreichender Beleuchtung an der Blatthälfte, welche von der Luft abgeschlossen war.

Sticht man jedoch an der Oberseite mit einer feinen Nadel Löcher in das Blatt oder macht mit dem Messer kleine Einschnitte, so erfolgt in der Umgebung dieser künstlichen Spaltöffnungen Stärkebildung (Stahl).

2. Zucker.

122. Vers. 1. Untersuche am späten Nachmittage eines sonnigen Sommertages Blätter von *Allium Cepa* auf Stärke (Vers. 117, 2).

2. Koche zerkleinerte Blätter desselben in Wasser aus und mache mit dem Filtrat die Zuckerreaktion (Vers. 27).

Es gibt Pflanzen, wie zum Beispiel unsere Küchenzwiebel, welche als Assimilationsprodukt nicht Stärke, sondern Zucker bilden, der dann weiter verarbeitet wird.

Da man durch den Versuch festgestellt hat, daß Pflanzen (zum Beispiel *Elodea*) imstande sind, selbst im Finstern Stärke zu erzeugen, wenn sie in einer 3%igen Rohrzuckerlösung liegen (Böhm), so hat man daraus den Schluß gezogen, daß Stärke wohl nur das erste sichtbare Assimilationsprodukt, Zucker aber ein früheres Stadium des Erfolges der assimilatorischen Tätigkeit der grünen Pflanze darstellt; bei manchen, wie den obengenannten, wird direkt der Zucker in den Stoffwechsel der Pflanze einbezogen, bei anderen erst Stärke geschaffen, deren weitere Schicksale uns später (vgl. „Stoffwandlung“) beschäftigen werden.

123. Vers. Stelle eine Topfpflanze von *Phaseolus vulgaris* (oder von *Tropaeolum*) etwa 24 Stunden ins Dunkle, bis die Blätter stärkefrei geworden sind. (Mache die Jodprobe; vgl. Vers. 117, 2.) Sodann schneidet man zwei möglichst gleich aussehende Blätter (bei *Phaseolus* am einfachsten die zwei zuerst entstandenen sogenannten Primärblätter) ab; das eine (*a*) stellen wir mit dem Stiele in Wasser, das zweite (*b*) lassen wir in einem leeren Gläschen trocken stehen und bringen beide an einen schlecht beleuchteten Ort. Wenn das eine Blättchen angewelkt ist, stellen wir beide in helles Licht, das zur Assimilation ausreicht.

Nach mehreren Stunden untersuchen wir das frische und das angewelkte Blatt auf Stärke.

Nur ersteres hat assimiliert; das angewelkte Blatt hat keine Stärke gebildet (vgl. S. 45). Es ist dies ein deutlicher Beweis dafür, daß die Schutzmittel gegen zu starke Transpiration (vgl. S. 46) eine wichtige Aufgabe zu erfüllen haben.

Größe der Assimilation.

Um die „Assimilationsenergie“ einer Pflanze kennen zu lernen, suchen wir die Stärkemenge zu berechnen, welche von 1 dm^2 oder 1 m^2 der Blattfläche täglich erzeugt wird.

124. Vers. Man schneidet am frühesten Morgen die eine Längshälfte einiger größerer Blätter (zum Beispiel von *Helianthus*)

entlang dem Mittelnerv ab und bestimmt ihr mittleres Trockengewicht (vgl. Vers. 4), während man die zweiten Hälften an der Pflanze beläßt. Am Abend (des warm und sonnig vorausgesetzten Tages) schneidet man die übriggebliebene Hälfte, welche tagsüber assimilieren konnte, ab und wägt sie (ohne den Blattstiel und ohne Mittelnerv; beide Blatthälften sollen möglichst gleich groß sein), um ihr durchschnittliches Trockengewicht zu finden. Der Gewichtsunterschied gibt annähernd die Menge der gebildeten Assimilate an. Wenn man nun die Blattflächen ausmißt (Vers. 68), so kann man die Menge der von 1 m^2 Blattfläche assimilierten Substanz berechnen.

So erzeugt ein Quadratmeter Blattfläche der Sonnenrose an einem Sommertage etwa 25 g organische Substanz. Nicht alle Pflanzen assimilieren in diesem Ausmaße; in unserem Vegetationsgebiete wird noch dazu der Assimilationstätigkeit durch die Kürze der Vegetationszeit eine enge Grenze gezogen; und selbst während derselben beschränkt sie sich nur auf die Tagesstunden, von welchen lange nicht alle zur Assimilation ausreichendes Licht haben.

Welche ungeheure Gesamtleistung die Assimilation der Pflanzenwelt vorstellt, kann man dem Umstande entnehmen, daß einzig und allein die grüne Pflanze es ist, welche außer dem eigenen auch noch das Leben von 1500 Millionen Menschen und der gesamten Tierwelt ermöglicht und erhält. Man suche sich zum Beispiel nur die Assimilationsarbeit zu vergegenwärtigen, welche (im Jahre 1904) zur Erzielung der Getreideernte Österreich-Ungarns im Betrage von 3.582 Millionen Kilogramm nötig war, deren Assimilate (organische Stoffe) sich auf 2.962 Millionen Kilogramm berechnen.

Das Chlorophyll:

Der eigentliche Ort der CO_2-Assimilation ist das im Protoplasma der Zelle eingelagerte Chlorophyllkorn, welches von einem grünen Farbstoffe, dem Blattgrün (Chlorophyll), gefärbt ist. Dieses Pigment (vgl. hierüber auch Vers. 32) ist auch in den roten Blättern der sogenannten Blutvarietäten (Blutbuche, Bluthasel etc.) enthalten, aber daselbst von Anthokyan (vgl. Vers. 136 und Aufg. 9, S. 20) verdeckt. Da somit diesem grünen Farbstoffe im Haushalte der Natur eine so ungemein wichtige und einzig dastehende Rolle zufällt, haben wir uns hier mit seinen physiologischen Eigentümlichkeiten näher zu befassen. Wir kennen bereits die Unentbehrlichkeit des Eisens bei seiner Bildung (S. 19). Wir erinnern uns ferner, daß der Zellsaft sauer reagiert (Vers. 29) und können uns davon neuerdings überzeugen, indem wir sehen, daß zerquetschte Blätter des Sauerklees blaues Lakmuspapier röten, ja sogar sauer schmecken. Daß das Chlorophyll in solchen Fällen bestehen kann, scheint nach dem Ergebnisse des folgenden Versuches zunächst befremdlich.

Seine Zerstörung.

125. Vers. Setzt man einer Chlorophyllösung (Vers. 32) einige Tropfen einer Säure, zum Beispiel Salzsäure, zu, so wird sie sofort mißfärbig.

Chlorophyll wird eben durch Säuren zerstört. Gegen diese Wirkung wird jedoch der grüne Farbstoff der lebenden Zelle dadurch geschützt, daß die Undurchdringlichkeit des Plasmas für die sauren Substanzen des Zellsaftes diese gar nicht zum Chlorophyllkorne vordringen läßt.

126. Vers. Man tötet das Protoplasma eines *Oxalis*-Blattes durch Eintauchen in siedendes Wasser; die Blätter verfärben sich sofort, da das tote Plasma für die sauren Stoffe des Zellsaftes permeabel geworden ist. (Nach Wiesner, vgl. Vers. 47.)

Eine solche Chlorophyllzerstörung tritt ganz allgemein an absterbenden Blättern auf, zum Beispiel im Herbste vor dem Laubfalle, und erzeugt die bekannten gelben und braunen Farbentöne der Baumkronen, wozu sich öfters noch durch die Neubildung von Anthokyan rote Töne gesellen.

127. Vers. Stelle eine konzentriertere und eine schwächere alkoholische Chlorophyllösung her. Fülle mit jeder derselben drei Proberöhrchen und stelle durch 24 Stunden je eine starke und eine verdünnte Lösung in die Sonne, in starkes diffuses Licht und ins Dunkle. (Nach Wiesner.)

Die im Sonnenlichte befindlichen Lösungen werden viel rascher verfärbt als die im diffusen Lichte oder gar als die im Dunkeln stehenden und von ersteren wieder am schnellsten die verdünnte Lösung:

Chlorophyllösungen werden im Lichte zerstört. Auch das Chlorophyll der Zellen wird von starkem Lichte in derselben Weise beeinflußt, um so stärker, je jünger die Zellen sind. Es wird uns daher durchaus nicht wundernehmen, wenn wir an den Pflanzen, namentlich zum Beispiel an den sich erst entfaltenden Blättern, Einrichtungen treffen, die wir im Sinne von Chlorophyllschutzmitteln deuten können. Zur Beurteilung ihrer Leistungsfähigkeit kann allerdings nur der Versuch sichere Anhaltspunkte abgeben.

Schutzmittel gegen zu starkes Licht.

Zunächst ist die Annahme gestattet, daß die Vorrichtungen, welche die Wärmestrahlung der Sonne herabsetzen, in gleichem Sinne auch die Lichtstrahlen in ihrer Wirkung schwächen. Die Transpirationsschutzmittel können meist auch als Schutzmittel gegen zu intensive Beleuchtung aufgefaßt werden.

Um annähernd eine Vorstellung zu bekommen, wie groß die auf diese Weise erzielte Lichtschwächung ist, müssen wir ein Mittel besitzen, Lichtstärken messen zu können.

128. Vers. Möglichst gleichmäßiges, ungeleimtes, weißes Papier (am besten sogenanntes „8 Kilo-Rivespapier“ der Photographen) taucht man fünf Minuten in einer flachen Schüssel in eine

3%ige Kochsalzlösung und hängt es dann zum Trocknen auf. Streifen davon läßt man mit der einen Seite auf einer 12%igen Lösung (siehe Anhang) von Silbernitrat durch drei Minuten im Dunkeln schwimmen und trocknet abermals, jetzt aber im Finstern, da das Papier lichtempfindlich geworden ist. (Die Finger sollen mit der Lösung und dem nassen Papier nicht in Berührung kommen, ebenso soll unter das abtropfende Papier eine dicke Papierunterlage gebracht werden, da sonst überall nachträglich schwarze Flecken entstehen können.)

Wird ein getrockneter Streifen dem Lichte ausgesetzt, so verfärbt er sich und wird desto dunkler, je stärker das Licht oder je länger die Belichtungszeit ist. Als Vergleichsmaßstab erzeugt man auf einem Stücke ungesalzenen Papieres durch Mischung von roter und blauer Aquarellfarbe (am besten Le Franc-Farben) einen der Farbentöne, welche bei der Belichtung des gesilberten Papiers auftreten können. Dieser gemalte Ton, welcher im Lichte nur wenig veränderlich und für gewöhnlich im Dunkeln aufzubewahren ist, heißt Normalton.

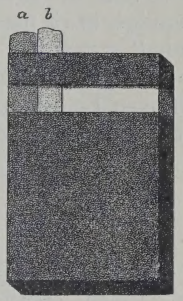


Fig. 29.

Normalton (*a*) und gesilbertes Papier (*b*) werden in Streifenform in den sogenannten Insolator (Fig. 29) eingeschoben, so wie die Abbildung zeigt. Der Insolator ist ein Brettchen, das mit schwarzem Papier in der angegebenen Weise überspannt (nicht überklebt) ist.

Um eine Lichtmessung auszuführen, zieht man das lichtempfindliche Papier (*b*) ein Stück heraus und läßt es sich verfärben. Erreicht es in vielleicht 10 (*e*) Sekunden die Farbe des Normaltones, so möge die Lichtstärke (*i*) als Eins bezeichnet werden. Dauert es ein anderesmal 20 (*t*) Sekunden, um denselben Farbenton wieder zu erreichen, so war die Lichtstärke nur $^1/_2$ der früheren (= 0·5). Man mißt demnach die Lichtstärke nach der Formel $i = \frac{e}{t}$. [Habe ich zum Beispiel einen Normalton gemalt, der dieselbe Farbe hat wie ein gesilberter Streifen, der an einem hellen Mittage des Sommers 5 Sekunden belichtet wurde, so ist $e = 5$; braucht das Silberpapier an einem anderen Orte oder Tage 25 Sekunden zur selben Färbung, so war im letzteren Falle die Lichtstärke $i = \frac{5}{25} = \frac{1}{5} = 0{\cdot}2$.]

Statt des selbstgesilberten Papiers kann man auch käufliches photographisches Kopierpapier verwenden, wenn es gleichmäßig lichtempfindlich ist (am besten sogenanntes Vindobona-Zelloidinpapier „weiß matt“). [Methode Wiesner.]

Je nach dem Sonnenstande wird bald dieses, bald jenes Blatt von mehr oder weniger senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen getroffen werden. Doch wird diese jeweilig stärkste Beleuchtung natürlich nur kurze Zeit anhalten und kaum eine nennenswerte Schädigung des Chlorophylls hervorrufen. Es gibt jedoch außer der direkten Sonnenstrahlung auch noch zerstreutes (= diffuses) Tageslicht. Zu allen Zeiten ist das vom Zenit einstrahlende diffuse Licht (= Oberlicht) dasjenige, welches die konstant stärkste Beleuchtung auf horizontaler Fläche erzeugt.

129. Vers. Man bestimme die Stärke des Oberlichtes an einem sonnenlosen Tage, indem man den Insolator wagerecht hält; hierauf mißt man die Intensität des diffusen Lichtes, während der Insolator geneigt, etwa parallel zu einem der äußeren Blätter eines Strauches gehalten wird.

Gegen den Horizont geneigte Blätter sind nicht dem stärksten diffusen Lichte ausgesetzt: sie entziehen sich dem konstant stärksten Oberlichte durch Neigung ihrer Spreiten.

Fig. 30.

Im Extrem stellen sich die Blattflächen vertikal, namentlich in heißen Gebieten mit hohem mittäglichen Sonnenstande, so daß sie stets nur von geschwächtem Lichte getroffen werden. Dasselbe kann man öfters an jungen, eben die Knospe verlassenden Blättern unserer Holzgewächse beobachten, welche sich auf diese Weise der schädlichen Wirkung zu starker Belichtung erfolgreich entziehen.

Der Schutz, den die geneigte Lage den Blättern gewährt, erfährt meist noch dadurch eine wirksame Förderung, daß die Fläche des Blattes sich verschieden faltet oder rollt, wodurch ein weiterer Teil des Lichtes abgehalten wird. Blätter im Waldinnern sind, wie die Messung zeigt, einem sehr geschwächten Lichte ausgesetzt, das sie zum Zwecke der Assimilation voll ausnützen müssen; daher sind, wie an den Blättern der Waldsträucher z. B. schön zu sehen ist, diese ganz flach ausgebreitet und dem Oberlichte voll ausgesetzt.

Diesen Unterschied zwischen stark und schwach beleuchteten Blättern kann man auch fast an jedem einzelnen Baume oder Strauche sehen. Fig. 30, *1* stellt einen Sonnenzweig des gemeinen Flieders dar; die Blatthälften sind im Mittelnerv emporgebogen, so daß das Oberlicht nur ganz geschwächt die Spreitenhälften beleuchten kann, während am Schattenzweige (*2*) die Blätter ihre Flächen wagerecht ausbreiten, um sich eine größere Lichtmenge zu sichern. Erstere stehen gekreuzt gegenständig, letztere haben diese Stellung verlassen und eine zweizeilige Anordnung in einer einzigen Ebene angenommen. — Haar- und Wachsüberzüge mögen als Lichtdämpfer wirken (Wiesner), während der starke Glanz wie lackiert aussehender Blätter von Tropenpflanzen gleichsam wie ein Spiegel das auffallende Licht durch Zurückstrahlen abschwächt. — Diese und andere „Schutzmittel" treten dann noch meist miteinander kombiniert auf.

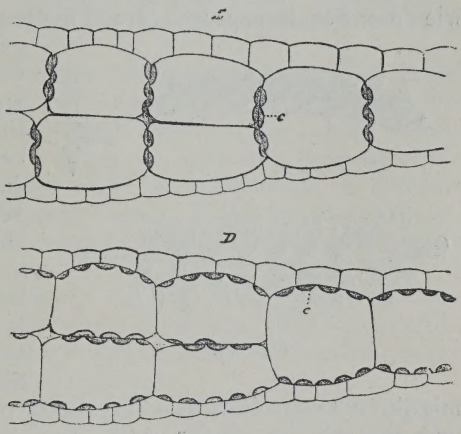


Fig. 31.
Querschnitt durch eine Wasserlinse. — *c* die Chlorophyllkörner. — *S* Stellung derselben im Sonnenlichte, *D* im Schatten. — Stark vergrößert. — Nach Stahl.

Die mikroskopische Untersuchung hat gezeigt, daß in den grünen Blattzellen die Chlorophyllkörner meist mehr oder minder gleichmäßig im wandständigen Protoplasma verteilt sind. Diejenigen von ihnen, welche der obersten, dem einfallenden Lichte zugewendeten Wand anliegen, werden auf ihrer flachen Seite — wir mögen sie uns als gewölbte Scheibchen, etwa wie einen Brotlaib, vorstellen — bestrahlt.

130. Vers. Von einem Fiederblatte des Hollunders pflückt man zwei gegenständige Blättchen, welche der Schattenpartie des Laubes entstammen, und legt sie kreuzweise übereinander zwischen zwei Glasplatten, welche man etwa $^1/_4$—$^1/_2$ Stunde direktem Sonnenlichte aussetzt.

Die vom direkten Lichte bestrahlten Blattpartien erscheinen jetzt lichter grün als die vom darüberliegenden Gewebe bedeckten Teile, welche ihre dunkelgrüne Farbe behalten haben. Die Vermutung, daß es sich hier um einen Fall von rascher Chlorophyllzerstörung im Lichte handle, wird durch die anatomische Untersuchung widerlegt: Die hellere Färbung kommt hier da-

durch zustande, daß die Chlorophyllkörner eine Lageveränderung vorgenommen haben*) (Fig. 31); indem sie zum Teil sich an die Seitenwände zurückgezogen haben, wenden sie dem einfallenden Lichte jetzt das Profil zu, werden also schwächer beleuchtet (Fig. 31, *S*). Man hat darin ebenfalls ein Beispiel von Chlorophyllschutz erblickt. (Zu lange fortgesetzte Belichtung führt allerdings dann zu einer Zerstörung des grünen Farbstoffes.)

Häufiger treten Stellungsänderungen der Blätter je nach dem Beleuchtungsgrade ein.

131. Vers. (Fig. 32.) Untersucht und vergleicht man die äußeren und die inneren Fiederblätter der Robinie miteinander, so zeigen die inneren ihre Blättchen alle in einer Ebene (ähnlich wie die Schattensprosse des Flieders, Fig. 30, *2*) flach ausgebreitet (das untere Blatt der Fig.). Ganz ähnlich ist die Stellung der äußeren Blättchen an einem stark bewölkten Tage. Wenn aber die Beleuchtung zunimmt, dann erheben sich die Blättchen der peripheren Blätter in gelenkartigen Anschwellungen ihrer Blattstielchen, bis sie sich — namentlich an Robiniensträuchern trockener Standorte sehr deutlich — mit ihren Oberseiten fast berühren (das obere Blatt der Fig.) und ihre Ebenen mehr oder weniger vertikal geworden sind. Der Erfolg ist darin zu suchen, daß die einzelnen Blattflächen jetzt dem zu stark gewordenen Oberlichte ausweichen. (Vgl. auch Kap. „Bewegung".)

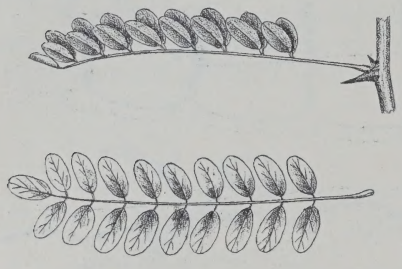


Fig. 32.

Die Entstehung des Chlorophylls.

132. Vers. Wir kultivieren bei vollständigem Lichtabschlusse Keimpflanzen (von *Sinapis*, *Vicia* u. a.); ihre Blätter sind vollständig bleich, statt Chlorophyll enthalten sie einen gelblichen Farbstoff, welcher dem Etiolin (des Vers. 32, 1) entspricht. (Vgl. auch „Wachstum".) Nun bringen wir sie in gutes diffuses Licht nahe dem Fenster; nach etwa einer Stunde schon erfolgt sichtbares Ergrünen. (Nach Wiesner.)

Die Bildung des Chlorophylls ist bei den meisten Pflanzen an Lichtwirkung gebunden, das auch hier wieder seinen tief in die verschiedenen Lebensvorgänge eingreifenden Einfluß geltend macht.

133. Vers. Wir lassen Koniferensamen im Dunkeln erwachsen (Föhre, Tanne). Die Keimlinge werden auch im Finstern grün.

*) Die Figur führt diese Verhältnisse an einer anderen Pflanze, der sogenannten „Wasserlinse", vor.

Mitunter erfolgt die Chlorophyllbildung also unabhängig vom Lichte, dessen Wirkung durch unbekannte chemische Vorgänge ersetzt wird.

134. Vers. Stelle Dunkel-Pflanzen des Vers. 132 in die finsterste Zimmerecke. Nach dem Ergrünen mache die Jodprobe. Miß die Lichtstärke an dem betreffenden Orte. (Nach Wiesner.)

Chlorophyll entsteht bereits bei äußerst geringen Lichtstärken, welche zur Assimilation noch nicht hinreichen.

Das neugebildete Chlorophyll unterliegt aber im Lichte bald wieder teilweiser Zerstörung, so daß die jeweilig im Chlorophyllkorne vorhandene Menge an grünem Pigment nur den Überschuß der Neubildung über die Zerstörung darstellt. (Nach Wiesner.)

Die Tatsache, daß die grünen Gewebe nur in der Peripherie der Organe angeordnet sind (wie man an einem Durchschnitte durch ein Blatt der *Agave*, einen Kaktus u. a. sehen kann), klärt sich nun auf: Das Licht, welches die äußeren grünen Gewebeschichten passiert hat, ist eben nicht mehr imstande, in tieferen Schichten, selbst wenn sie grün wären, Assimilation hervorzurufen. Grüne, tief im Innern gelegene Gewebe würden also ihren Zweck gar nicht erfüllen.

Die Bedeutung des Chlorophylls.

Um den verschiedenartigen Einfluß des Lichtes auf das Chlorophyll zu erklären, muß man annehmen, daß die Lichtschwingungen vom Chlorophyllfarbstoff aufgenommen, „absorbiert“ werden, also als „Licht“ verschwinden.

135. Vers. 1. Stelle ein Becherglas mit Chlorophyllösung auf ein photographisches Kopierpapier (*a*) und lege ein zweites derartiges Papier (*b*) unter ein leeres oder nur mit Alkohol gefülltes Becherglas.

2. Statt der Chlorophyllösung kann man auf das lichtempfindliche Papier (*a*) auch grüne Blätter (mit der Oberseite) auflegen und mit einer Glasplatte bedecken. Zur Kontrolle legt man einen photographischen Papierstreifen frei daneben (*b*) unter die Glasplatte. (Vgl. Aufgabe 14.)

Nach einiger Zeit wird der Streifen *b* sich verfärben, während der erste Streifen (*a*) kaum oder gar nicht verfärbt erscheint: Das Chlorophyll absorbiert namentlich die blauen und violetten Lichtstrahlen in hohem Grade. Diese Ätherschwingungen verschwinden daher als solche und übertragen ihre Schwingungsenergie, wie man annimmt [Timirjazeff], auf die Moleküle des CO_2, welches dadurch in C und O_2 zerlegt wird, wobei das Chlorophyll selbst ebenfalls zersetzt wird. Unsere Erfahrungen über die Wirkungen des Lichtes auf das Chlorophyll würden also dahin zu deuten sein, daß dem Chlorophyll die Rolle eines „Sensibilisators“ zufiele, ähnlich wie zum Beispiel gewisse Farbstoffe eine für die blauen und violetten

Lichtstrahlen empfindliche photographische Platte auch für gelbe oder rote Strahlen empfänglich machen („sensibilisieren").

Jede Absorption von Lichtstrahlen durch einen Körper hat aber auch einen Umsatz derselben in Wärmeschwingungen im Gefolge. (Ganz undurchsichtige schwarze Körper erwärmen sich bekanntlich stark.) So wird uns jetzt auch verständlich, daß die Transpiration grüner Pflanzen unter dem Einflusse der Lichtstrahlen auffallend erhöht wird (vgl. Vers. 72). Es soll hier darauf aufmerksam gemacht werden, daß im Pflanzenreiche sehr häufig ein Farbstoff auftritt, welcher in gleicher Weise, durch Lichtabsorption, eine Erhöhung der Wärme in den Zellen erzeugt, das Anthokyan. (Vgl. 1. Kap., Aufgabe 9.) Es ist dies ein im Zellsaft gelöster roter oder blauer Farbstoff, der nicht nur in Stengeln und Blättern, sondern auch in Blüten auftreten kann.

Das Anthokyan.

136. Vers. 1. Blätter von Rotkohl, Rotkraut, dunkle Malvenblüten, schwarze Weinbeeren u. a. werden unter Wasser zerquetscht, ausgekocht und filtriert.

2. Wenn man zu der roten Lösung etwas Ammoniak gibt, so wird sie blau. Fügt man ein wenig einer Säure zu, so erfolgt wiederum Rotfärbung. (Vgl. Aufgabe 15.)

Die blauen und roten Blüten sowie die roten Blätter der sogenannten „Blutvarietäten" vieler Pflanzen (Blutbuche, Bluthasel etc.) verdanken dem Anthokyan ihre Färbung Pflanzen arktischer Gebiete oder manche überwinternde Gewächse bedienen sich des Anthokyans in ihren Blättern als eines ausgiebigen Mittels, die Lichtstrahlen in Wärmestrahlen umzuwandeln und dadurch ihre Stoffwechselvorgänge zu beschleunigen.

Die *C*-Ernährung der chlorophyllfreien Pflanzen:

Hie und da begegnen uns auf Wiesen oder im Walde höher organisierte Pflanzen (Phanerogamen), welche durch ein höchst sonderbares Aussehen vor ihrer Umgebung ausgezeichnet sind (Sommerwurz, Schuppenwurz, Fichtenspargel, Nestwurz u. a.). Ihre Blüten stehen meist auf unverzweigten, bleichen oder braunen Stengeln, statt der Blätter tragen sie nur kleine Schuppen von gleicher Farbe, denen das Chlorophyll ganz oder zum größten Teil fehlt (Aufgabe 18). So ragen sie aus der Menge ihrer grünen Genossen nicht nur durch ihre Gestalt auffällig hervor; denn nach unseren Erfahrungen muß sich auch ihre Ernährung in mancher Hinsicht anders als bei jenen verhalten, da wir nur den grünen Pflanzen die Fähigkeit zuerkennen konnten, ihren Kohlenstoffbedarf aus der Luft zu decken und sich völlig selbständig zu entwickeln. Es erregt besonders unser Interesse, die Mittel und Wege kennen zu lernen, deren sich die genannten Pflanzen bedienen müssen, um den *C* ihrer organischen Verbindungen zu beschaffen. Gleichzeitig erkennen wir bei diesen bleichen Blütenpflanzen, welchen tiefgreifenden Einfluß die CO_2-Assimilation auf die Formverhältnisse (vgl. „Formbildung") der Gewächse ausübt, da mit dem Zurücktreten des Chlorophylls

nicht nur die Tracht der Pflanze, sondern auch ihr anatomischer Bau sich auffälligst verändern.

Parasitische Blütenpflanzen.

137. Vers. Samen der Sommerwurzart *Orobanche speciosa* werden anfangs Mai im Freilande (oder in einem Blumentopfe) auf und neben die Samen von Puffbohnen gelegt und 3 *cm* hoch mit Erde bedeckt. (Kulturanweisung nach dem Samenverzeichnisse von Haage und Schmidt, Erfurt.)

Nach Beendigung der Kultur wird der Erdballen durch Umstülpen des Topfes aus diesem entfernt und vorsichtig die Erde von den Wurzeln abgespült, worauf man die Verwachsung beider Pflanzen feststellen kann.

Die Verwachsung geschieht durch eigentümlich umgebildete wurzelartige Organe, mittelst welcher diese Schmarotzerpflanze (= Parasit) ihren Nährpflanzen den Bedarf an organischen Stoffen entnimmt, da sie der Chlorophyllmangel an selbständiger Erzeugung derselben hindert. Das eigentliche Wurzelsystem ist dabei mehr oder minder umgebildet worden.

Große Blattflächen, welche einen ausgiebigen, mit Nährstoffen beladenen Wasserstrom durch ihre Transpirationstätigkeit erzeugen oder zur Assimilation dienen müßten, sind nicht nötig, die Blätter daher zu schuppenförmigen Gebilden umgestaltet und die Wasserleitungsbahnen nur schwach entwickelt.

Indem die Sommerwurz ihre „Wirtpflanze“ aussaugt und ihr wichtige Nahrungssäfte entzieht, schädigt sie diese oft aufs empfindlichste. In ähnlicher Weise fügt der sogenannte Teufelszwirn (*Cuscuta*, auch Flachs- oder Kleeseide genannt, je nach dem Opfer, das er befällt) durch die Entnahme von Körpersäften aus den befallenen Pflanzen und, da er schwer auszurotten ist, der Landwirtschaft ebenfalls bedeutenden Schaden zu. Nur durch peinlichste Untersuchung des Saatgutes auf beigemischte Samen der Kleeseide in den Samenkontrollstationen und Benützung reinen Saatmaterials läßt sich das Auftreten des Parasiten verhindern oder wenigstens einschränken.

Wie überall in der Natur vermittelnde Übergänge zu finden sind, so gibt es auch unter den parasitischen Phanerogamen Vertreter, welche grüne Blätter ausbilden und daher teilweise wenigstens selbständig assimilieren können; die allbekannte Baummistel (*Viscum album*) zum Beispiel gehört hierher; es ist sogar sehr wahrscheinlich, daß sie aus dem befallenen Baume keine organischen Stoffe, sondern bloß die mineralischen Nährsalze bezieht (sogenannter „Wasserparasit“). Andere wieder (zum Beispiel der Augentrost [*Euphrasia*], der Klappertopf [*Alectorolophus*]) können zwar auch ganz selbständig leben, gedeihen aber im Verbande mit einer Wirtpflanze besser (man nennt sie darum „Halbparasiten“).

Während einige dieser Parasiten auf verschiedenen Wirtpflanzen vorkommen können, sind andere nur auf eine ganz

bestimmte Art angewiesen, sie haben sich „spezialisiert“ (Aufgabe 17).

Die Schmarotzer haben sich durch ihre Lebensweise zwar in ein Abhängigkeitsverhältnis zu ihren Wirtpflanzen gestellt, von deren Gedeihen ihr eigenes abhängt; doch haben sie dadurch eine Entlastung ihrer Ernährungsarbeit erzielt, indem sie die von anderen Pflanzen erzeugten organischen Verbindungen schon in mehr oder minder fertiger Form beziehen. Dadurch kann die Ausbildung ihrer Ernährungsorgane mehr oder weniger überflüssig werden, wie man denn auch Parasiten kennt, welche durchaus im Körper des Wirtes in Form von Fasersträngen oder feinen Fäden leben und nur von Zeit und Zeit ihre oft sonderbar gestalteten Blüten aus demselben hervorbrechen lassen.

Es mag hier kurz erwähnt werden, daß gewöhnlich Efeu und andere Kletterpflanzen für Parasiten gehalten werden, während sie ihre Haftwurzeln bloß zum Festhalten, nicht zum „Aussaugen“ ihrer Stützbäume brauchen. Ebenso sind viele auf Baumrinden lebende Formen oft lediglich „Raumparasiten“, die unabhängig vom Substrat ihren *C*-Bedarf decken können. Bei ihnen handelt es sich vielfach nur darum, ins Licht emporzukommen, das ihnen auf dem Boden nur in spärlichem Ausmaße zuteil werden würde.

Saprophytische Blütenpflanzen.

Nun kennt man chlorophyllfreie (oder -arme) Blütenpflanzen, welche keine Verwachsung mit grünen Pflanzen zeigen, wie z. B. die Nestwurz (*Neottia*) und den Fichtenspargel (*Monotropa*). Da sie auf humusreichen Böden besonders gut gedeihen, selber aber nicht imstande sind, organische Stoffe zu bilden, so liegt die Vermutung nahe, daß der große Reichtum an organischen Stoffen des Humus die Quelle ihres *C*-Gehaltes sein mag. Daß im humösen Boden (z. B. in schwarzer Walderde) organische Substanzen vorhanden sind, zeigte der Versuch (24, 2). Das Experiment hat aber auch erkennen lassen, daß die in wässerigen Bodenauszügen auftretenden organischen Stoffe nicht als Nahrungsmittel dienen können. Vielmehr kommen für die Ernährung dieser „Humusbewohner“ andere, noch wenig bekannte organische Kohlenstoffverbindungen des Bodens in Betracht. Jedenfalls aber sind diese durch Verwesung früherer Generationen von Pflanzen (zum Teil auch von Tieren) entstanden.

Was über die Verkümmerung der Blätter der Parasiten gesagt wurde, gilt auch von diesen „Humusbewohnern“ (= Saprophyten); ihre Wurzeln jedoch erfahren keine so weitgehende Rückbildung, da sie aus dem Boden wie normale Wurzeln Nährstoffe aufnehmen müssen.

Auch hier kommen wieder Zwischenformen vor, welche mit grünen, selbständig assimilierenden Blättern versehen sind. Diese Ernährungsweise wird für viele Pflanzen humusreicher Alpenmatten angegeben, z. B. manche kleine Enzianart, Ane-

monen, Alpenveilchen u. a. Nur sorgfältigste, schwierige Kulturversuche können uns über die Ernährungstätigkeit dieser Gewächse Aufschluß verschaffen.

Chlorophyllfreie Sporenpflanzen.

Neben der sehr kleinen Zahl nicht grüner Phanerogamen gibt es eine unübersehbare Menge gänzlich chlorophyllfreier Sporenpflanzen, von welchen die „Schwämme“ des Waldes die weitaus bekanntesten sind. Die allermeisten dieser richtiger Pilze genannten blütenlosen Pflanzen besitzen jedoch nur winzige Größe oder gar nur mikroskopische Dimensionen.

Namentlich die kleineren Vertreter der Pilze sind es, welche den pflanzlichen, tierischen und den menschlichen Organismus als Quelle des Nahrungserwerbes aufsuchen. Indem sie dem Körper ihrer Nährorganismen lebenswichtige Stoffe entziehen, werden sie für sie schädlich; viele derselben bedeuten sogar für den von ihnen befallenen Organismus gleichzeitig eine Lebensgefahr, um so mehr, als mancher der parasitischen Pilze in seinem Stoffwechsel oft Substanzen von heftigster Giftwirkung absondert. Als solche Krankheitserreger des menschlichen Körpers sind die Bakterien allgemein bekannt Weit weniger verbreitet ist die Kenntnis davon, daß auch die Pflanzen vielfachen Krankheiten ausgesetzt sind, die teils durch Bakterien, teils durch andere niedrig organisierte Pilze hervorgerufen werden, deren Schädlichkeit sich uns namentlich auf dem Gebiete der Landwirtschaft oft in empfindlichster Weise fühlbar macht. Die häufig auf Blättern auftretenden schwärzlichen Streifen oder Flecken werden durch solche krankheitserregende Pilze hervorgerufen (Getreiderost und -brand).

Auch unter ihnen gibt es eine sehr große Zahl „Spezialisten“, die sich nur von einer bestimmten Art zu ernähren vermögen, während sie, auf andere Organismen übertragen, sich nicht entwickeln können. Anderseits kennt man aber auch „saprophytische“ Pilze, welche nur außerhalb des lebenden Organismus angetroffen werden. (Vgl. Aufgabe 20.)

138. Vers. 1. Lege eine angeschnittene Zitrone auf einem kleinen, wasserhaltenden Schälchen auf einen Teller und stülpe darüber einen Sturz, um feuchte Atmosphäre herzustellen. Nach einiger Zeit beginnt sich die Zitrone mit einem grünlichen Überzuge zu bedecken, welcher beim Daraufblasen kleine „Staub“-wölkchen entsendet. Er besteht aus einfach gebauten „Schimmelpilzen“.

2. In einem Glase Wasser wird etwas Zucker aufgelöst und das Ganze, durch ein Blatt Papier vor Staub geschützt, im warmen Zimmer stehen gelassen. Die Flüssigkeit trübt sich anfangs und beginnt allmählich nach Alkohol zu riechen infolge der Entwicklung und Tätigkeit von „Hefe“organismen.

3. Verwende statt der Zuckerlösung Bier; nach einiger Zeit wird es sauer riechen; in der Flüssigkeit sind zahlreiche Bakterien nachzuweisen.

4. Lasse kurze Zeit gekochte (aber noch nicht zerkochte) Scheiben von gelben Rüben und Kartoffeln in einem feuchten Raume längere Zeit stehen. Ihre Oberflächen bedecken sich bald mit weißlichen, gelblichen oder auch rötlichen Klümpchen von schleimiger Beschaffenheit, welche allmählich sich vergrößern und ebenfalls aus Bakterien bestehen.

Urzeugung.

Die obigen Versuche können, man darf wohl sagen, überall auf unserem Planeten mit dem gleichen Erfolge wiederholt werden; soweit die Lebensbedingungen günstig sind, treten auf entsprechendem „Substrat“ Schimmelpilze oder Hefen und Bakterien auf. Diese Allgegenwart der genannten Organismen hatte seit jeher etwas Geheimnisvolles an sich und man beantwortete die Frage nach ihrer Herkunft mit der Annahme, daß sie von selbst (spontan) durch eine eigentümliche Umformung leblosen Stoffes entstünden. Diese Entstehung des Lebens aus dem Leblosen heißt „Urzeugung“. Noch bis in die Mitte des 17. Jahrhunderts nahmen hervorragende Naturforscher sogar die „spontane“ Entstehung von Ratten aus lebloser Materie an, so wie schon Aristoteles ganz allgemein die Bildung von Tieren aus trockenen, feucht gewordenen Körpern, zum Beispiel von Aalen aus Schlamm, lehrte und wie heutzutage noch das Volk an der Entstehung von Maden aus Fleisch oder des Ungeziefers aus Staub festhält. Unterdessen hat man bei diesen Tieren überall noch Eier gefunden, aus denen sie hervorgehen. Bei Schimmelpilzen u. a. läßt sich aber mit freiem Auge nirgends derartiges entdecken. Somit standen zwei Erklärungswege offen: entweder waren die möglicherweise doch vorhandenen Vermehrungsorgane („Keime“) von mikroskopischer Kleinheit oder sie existierten überhaupt nicht und das Auftreten und die Vermehrung solcher niederer Lebewesen auf anscheinend organismenfreien Nährunterlagen (Substraten) war durch Urzeugung zustande gekommen.

Da gelang es 1860 dem genialen Pasteur, durch scharfsinnige Versuche Klarheit in die Frage zu bringen. Wenn sich auf dem Nährboden Organismen entwickeln, so können diese entweder aus der Luft mit dem Staube auf das Substrat und hier zu weiterer Entwicklung gelangt sein. Oder sie waren schon im Substrat unsichtbar vorhanden oder endlich sie entstanden eben durch Urzeugung.

Sterilisieren.

Man hat schon früher gewußt, daß entsprechende Hitzegrade von gewisser Dauer die „Keime“ abtöten, so daß man auf diese Weise ein Substrat „sterilisieren“, das heißt so beeinflussen kann, daß die auf ihm vorhandenen Keime absterben. Diejenigen Keime aber, welche aus der Luft hinzutreten könnten, lassen sich durch Verschluß des Kulturgefäßes, in dem sich das Nährsubstrat befindet, zurückhalten. Auf diese Weise muß das letztere, sterilisiert und vor Luftzutritt geschützt, unverändert

und frei von Mikroorganismen bleiben, wenn es keine spontane Entstehung derselben gibt. Treten trotz sorgfältigstem Ausschluß derselben im Nährboden doch Zersetzungen auf und stellen sich die winzigen Lebewesen dennoch ein, so spräche ein solches Ergebnis zugunsten der Annahme einer Urzeugung.

139. Vers. Einige Äpfel werden mit Wasser zu Brei verkocht, das Wasser abfiltriert und zu gleichen Teilen in zwei Glaskolben (Erlenmayer-Kolben) eingefüllt und der Hals der letzteren mit einem dichten Wattepfropf verschlossen. Letzteren stellen wir so her, daß wir auf den Kolbenhals ein viereckiges Stück Watte auflegen, deren Zipfel wir mit einer Pinzette gegen die Mitte zusammenschlagen, worauf wir die Watte mit der Pinzette in den Hals einschieben. Beide Kolben werden im verschlossenen Zustande etwa eine halbe Stunde gekocht (sterilisiert). Einer bleibt verschlossen, der andere steht hernach eine Stunde lang offen und wird dann wieder verstöpselt, nachdem man das untere Ende des Wattebausches durch schnelles Durchziehen durch eine Flamme angesengt hat.

Zweckmäßig nimmt man das Sterilisieren von Gefäßen (Kolben, Schalen oder Eprouvetten) in heißem Wasserdampfe vor (Fig. 33). In einem großen Topfe, welcher mit einem Deckel verschlossen werden kann, steht auf einem kleineren umgekehrten Topfe, der als Untersatz dient, ein Gefäß etwa mit den zu sterilisierenden, mit Nährstoffen und Wattepfropf versehenen Eprouvetten oder Kolben beschickt. Im großen Gefäße wird Wasser durch Kochen zum Verdampfen gebracht, dessen Hitze die Keime abtötet. (Siehe Anhang.)

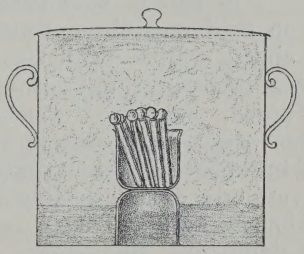


Fig. 33.

Nach einer Woche wird die Flüssigkeit im offen gewesenen Gefäße von Schimmelpilzen und Bakterien besiedelt sein, während sie im verschlossen gebliebenen Kolben klar bleibt.

Schon daraus folgt, daß im ersten Gefäße die Keime tatsächlich durch das Kochen zerstört worden sind. Aus der Luft konnten keine neuen hinzutreten und aus dem Substrat haben sich spontan ebenfalls keine Organismen bilden können. Somit hat sich aus Pasteurs Versuchen das Nichtvorhandensein einer Urzeugung, wenigstens unter den Bedingungen, unter welchen unser Versuch angestellt war, ergeben. Nichtsdestoweniger nimmt man an, daß wenigstens einmal, und zwar in fernsten Zeiten der Erdgeschichte, Urzeugung stattgefunden haben müsse; mindestens damals sei, zum erstenmal, Belebtes aus Unbelebtem hervorgegangen. Wie dem auch

sein mag, ob elternlose Erzeugung von Lebewesen einfachster Art möglich ist oder nicht, wir wissen nur das eine sicher, daß sie in der Gegenwart von niemandem nachgewiesen werden konnte. Die Frage nach der Urzeugung hat seit jeher aus dem Grunde das größte Interesse gefunden, weil die genannte Annahme eine von denjenigen Hypothesen ist, welche die Entstehung des Lebens auf Erden erklären wollen.

Sind unsere Voraussetzungen richtig, dann muß man ja auch Keime in der Luft nachweisen können; Pasteur hat dies auch getan. Die Anordnung des Versuches, der nur bei peinlichster Genauigkeit (sorgfältigstem Sterilisieren aller in Betracht kommenden Teile) ein brauchbares Resultat ergibt, ist die folgende:

Mittelst Aspirators oder Wasserstrahlluftpumpe wird durch ein weites Rohr, welches durch ein Stück Kautschukschlauch am Glasrohre *a* des ersteren (Fig. 4) befestigt ist, Luft eingesaugt (etwa 1 *l* pro Minute), welche durch einen im weiten Rohre befindlichen Wattepfropf hindurchstreichen muß. Nach 24 Stunden wirft man den Wattebausch in einen mit der Lösung des vorigen Versuches versetzten und sterilisierten Kolben und verschließt ihn wieder rasch.

In Kürze entwickeln sich im Substrat zahlreiche Keime von Schimmelpilzen, meist aber Bakterien. Löst man mit Luftkeimen erfüllte Schießbaumwolle in Äther auf und untersucht den Rückstand mikroskopisch, so kann man die verschiedenen Sporen, das ist Vermehrungszellen dieser niederorganisierten Lebewesen, auch direkt sehen. Sie sind es, die, in der ganzen Atmosphäre zerstreut, die mannigfaltigsten Gärungs- und Verwesungsprozesse bedingen und manche Krankheit verbreiten können. Unter ihnen sind die kleinsten, aber furchtbarsten Feinde des Menschen: die Bakterien; stündlich atmen wir 300 bis 5000 unsichtbare Keime, darunter auch unsere Todfeinde, ein; sie fliegen nicht nur, vom Windhauche getragen, durch die Luft, in der sie sich in einem Zustande der Trockenstarre befinden, sie bevölkern auch den Erdboden, in dem sie sich lebhaft vermehren: 1 cm^3 Gartenerde enthält ihrer etwa 100.000; aus dem Wasser hat man eine große Zahl derselben kennen gelernt; selbst reines Quell- oder Leitungswasser führt im Kubikzentimeter etwa 2 bis 50, Regenwasser 35, Flußwasser 6000 bis über 200.000, Kanalwasser 2 bis 40 Millionen!

Die Bakterien sind durch ihre Kleinheit ausgezeichnet, zu ihnen gehören die kleinsten uns bekanntgewordenen Organismen; die länglichen Zellen der Tuberkelbazillen sind 0·002 bis 0·004 *mm* lang, die meisten Bakterien nur 0·001 *mm* dick. Kein Wunder daher, daß sie selbst dem bewaffneten Auge so lange unsichtbar zu bleiben und die Annahme einer Urzeugung wahrscheinlich zu machen vermochten. Auch durch ihre oft

große Widerstandsfähigkeit gegen Hitze sind viele von ihnen merkwürdig. Während die meisten Pflanzen nur Temperaturen bis zu etwa 30° bis 45° C vertragen, ohne ihre Lebensfähigkeit einzubüßen, und nur die Sukkulenten (Kakteen u. a.) Erwärmungen von 50° C ohne Schaden ertragen zu können scheinen (vgl. Vers. 185), sterben diese Phanerogamen meist binnen einigen Stunden ab, wenn sie auch nur um 1 bis 2° höheren Wärmegraden (dem sogenannten Ultramaximum — Hilbrig 1900) ausgesetzt sind. Niedrige Organismen können aber selbst noch bei zirka 70° C existieren (in heißen Quellen) und stunden-, ja selbst tagelanges Erwärmen über ihr Temperaturmaximum aushalten. Bakteriensporen vertragen sogar längere Zeit hindurch die Siedehitze des Wassers. Diese Widerstandsfähigkeit erhöht sich noch, wenn die Pflanzen dabei in wasserfreiem Zustande sind: Samen, Sporen und Moose können dann selbst 100 bis 120° C ertragen, um nach Aufhören der eingetretenen „Wärmestarre“ (vgl. unter „Bewegung“) wieder zum Leben zurückzukehren. Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen.

Zur Erläuterung des Gesagten führen wir folgende Versuche aus:

140. Vers. 1. Wir erwärmen eine Portion lufttrockener und eine Portion eingequollener Gerstensamen langsam auf 100° C und belassen sie zirka 1 Stunde bei dieser Temperatur (etwa im Wärmeschranke, siehe Anhang). Hierauf versuchen wir, ob die Samen der ersten oder zweiten Partie noch keimfähig sind (siehe Anhang).

2. Verfahre ebenso mit frischer (= wasserhältiger) und lufttrockener, nicht zu alter Hefe, welche langsam auf 65° C erwärmt und 1 Stunde lang dieser Wärme ausgesetzt wird. Untersuche die Gärfähigkeit beider Portionen. (Nach Wiesners Vorlesungen; vgl. Vers. 193.)

Ebensowenig wie das sogenannte Erfrieren der Pflanzen (vgl. Seite 51, Vers. 85) durch den einfachen physikalischen Vorgang des Gefrierens der Zellsäfte (vgl. Seite 52) erklärlich ist, ebensowenig kann auch der Hitzetod der Gewächse auf eine einfache Ursache zurückgeführt werden. Man hat früher an das Gerinnen des Eiweißes der Zelle als höchst plausibel erscheinenden Erklärungsgrund gedacht, der nach unseren jetzigen Kenntnissen jedoch wegfallen muß; denn oft tritt der Tod der Pflanze ein, lange bevor noch die Gerinnungstemperatur der Eiweißstoffe erreicht ist. Offenbar sind hier andere, vor allem kompliziertere Vorgänge im Spiele, durch deren Tätigkeit die Lebensstruktur des Protoplasmas vernichtet wird.

Fragen wir nun, von welchen Substanzen die niedrigen chlorophyllfreien Organismen sich ernähren. Die Nährstoffe der chlorophyllfreien Sporenpflanzen.

141. Vers. 1. Durchfeuchtetes Schwarzbrot, unter einem Glassturze in Zimmerwärme liegend, bedeckt sich nach mehreren

Tagen mit einer blaugrünlichen Kruste des Köpfchenschimmels (daneben können noch andere Schimmelpilze auftreten), welcher seine Nahrung dem Brote entnimmt. Bei langandauernder Kultur verringert sich die Brotmasse sichtlich.

Um genauer die einzelnen Nährstoffe kennen zu lernen, stellen wir folgende Kulturflüssigkeit her (nach Detmer): Auf je 100 cm^3 destilliertes Wasser kommen 0·05 g phosphorsaures Ammon, 0·05 g saures phosphorsaures Kali, 0·03 g schwefelsaure Magnesia, 0·01 g Chlorkalzium. Hierin sind die zum Gedeihen des Köpfchenschimmels notwendigen Mineralsalze enthalten.

2. Wir füllen nun vier Glaskolben mit je 100 cm^3 obiger Lösung. Das erste Gefäß enthält nur diese Flüssigkeit; zum zweiten Kolben setzt man noch 1 g Rohrzucker, zum dritten 1 g Oxalsäure, zum vierten 1 g Zitronensäure zu. Damit auch der Inhalt der beiden ersten Kolben sauer reagiere, fügen wir ihnen ein paar Tropfen recht verdünnter (1 : 100) Schwefelsäure zu.

Die mit einem dichten Wattepfropf versehenen Kolben werden samt Inhalt etwa $1^1/_2$ Stunden sterilisiert. Hierauf verrührt man etwas von der grünlichen Kruste auf dem Brote in 40 cm^3 gekochtem und wieder abgekühltem Wasser.

Je 2 cm^3 dieses Wassers, welche ungefähr gleichviel Material des Schimmelpilzes enthalten, werden in jeden der vier Kolben eingefüllt und diese sofort mit dem Wattepfropf wieder verschlossen.

Nach einer Woche ist die Flüssigkeit im zweiten und vierten Kolben mit einer bläulichgrauen Schicht des Köpfchenschimmels überzogen, im ersten und vierten Gefäße aber nicht.

Daraus folgt: Der genannte Schimmelpilz (und sehr viele andere niedere Organismen) kann nur bei Gegenwart gewisser organischer Stoffe gedeihen. — Obwohl diese Gewächse wie die höheren Pflanzen einen Bedarf an Mineralsubstanzen haben, reichen diese allein für die Ernährung der genannten nicht hin: ihr Chlorophyllmangel hindert sie an selbständiger Bildung organischer Substanz, die sie nur in organischer Form, welche ihnen die Lebenstätigkeit anderer Organismen geliefert hat, aufnehmen müssen. Sie sind in letzter Linie ebenso wie die Tiere in ihrer Existenz von dem Vorhandensein anderer Lebewesen völlig abhängig.

Die organischen Verbindungen ihres Kultur-„Mediums“ (des „Substrats“) sind vor allem die Quelle des Kohlenstoffes, den die Pilze (Schimmelpilze u. a., Bakterien) zum Aufbau des eigenen Körpers benötigen. Nicht alle organischen C-Verbindungen sind aber gleich gut als C-Quelle zu verwerten; so haben wir gesehen, daß die Oxalsäure kein Nahrungsmittel für die kultivierten Pilze darstellt.

Wenn wir in Vers. 138, 2, eine konzentrierte Zuckerlösung verwenden, dann gedeihen darinnen keine Hefeorganismen; sonst aber kann die Konzentration des Substrats beträchtlichen Schwankungen unterliegen, ohne solche Mikroorganismen (= kleine, niedrig organisierte Formen) zu schädigen. (Vgl. aber damit das Verhalten höherer Pflanzen, Vers. 22.)

Die organische Nahrung beziehen diese Organismen, wie wir gesehen haben, entweder bei parasitischer Lebensweise aus dem lebenden Körper anderer Organismen oder sie leben saprophytisch (als sogenannte Verwesungspflanzen) von den Ausscheidungen derselben oder auf ihren abgestorbenen Überresten. Welche wichtige Rolle sie dadurch im Haushalte der Natur spielen, werden wir noch Gelegenheit haben, zu erfahren. (Vgl. „Fäulnis".) Gar manche von ihnen haben sich an die Ausnützung bestimmter organischer Stoffe angepaßt (vgl. auch „Gärung"), andere sind weniger wählerisch und finden daher überall auf Erden ihr Fortkommen, um so mehr, als verschiedene, mitunter sogar ziemlich hohe Konzentrationen des Nährmediums für die Besiedlung kein Hindernis bilden.

Im Gegensatze zu den grünen Pflanzen, welche autotroph, d. h. selbständig aus durchweg unorganischen Substanzen die Bestandteile des lebenden Zellenleibes aufbauen, nennt man die auf die Existenz anderer Lebewesen angewiesenen Parasiten und Saprophyten heterotrophe Gewächse. (Vgl. im nächsten Kapitel das Verhalten der Nitrobakterien.)

„Reinkulturen."

Hat man auf irgendeine Weise Bakterienkulturen erhalten, so will man daraus öfters sogenannte „Reinkulturen" züchten, da die ersten Kulturen meist verunreinigt sind, indem auf dem Substrat mehrere Arten von Bakterien oder Schimmelpilzen neben- und zwischeneinander wachsen. Wir wollen uns z. B. die Aufgabe stellen, eine der Bakterienarten des Vers. 138, 4, welche in den gelblichen Klümpchen auftreten, zu isolieren, rein zu züchten. Am einfachsten führt meist folgender Weg zum Ziele.

142. Vers. 1. Zuerst werden solche Bakterien in eine Eprouvette mit Nährgelatine „überimpft", d. h. in Gelatine übertragen, welche außer unorganischen Nährsalzen auch noch organische Verbindungen als Bezugsquelle für den Kohlenstoff und den Stickstoff enthält, z. B. Zucker, Zitronensäure, Pepton, Fleischextrakt u. v. a. Da ihre Herstellung ziemlich mühevoll ist, geben wir käuflichen, mit fertiger Nährgelatine versehenen und bereits sterilisierten Eprouvetten den Vorzug.

2. Ein in einen Glasstab eingeschmolzener (vgl. Vers. 7), etwa 8 *cm* langer Platindraht dient als „Impfnadel" (Fig. 34). Diese wird sorgfältig ausgeglüht und vor jedesmaligem Gebrauche neuerdings durch die Flamme gezogen, um alle auf ihr befindlichen Keime zu töten. Nach ihrem Erkalten — was in wenigen Augenblicken der Fall ist — zieht man sie durch die abzu-

impfende Bakterienkultur, wobei stets eine große Anzahl von Bakterien an ihr haften bleibt. Indessen hat man die sterilisierte Eprouvette mit der Nährgelatine in die linke Hand genommen und hält sie mit der Mündung etwas schräg nach abwärts. Sofort, nachdem man mit der Rechten die Impfnadel durch die Kultur gezogen, entfernt man mit der rechten Hand (siehe Fig. 34) den Wattepfropf aus der Eprouvette, sticht mit der Nadel in die Gelatine („Stichkultur“) und verschließt die Eprouvette sofort wieder mit dem Pfropf. Die Nadel wird sogleich wieder ausgeglüht (und kann auf einer sterilisierten Glasplatte unter einem ebensolchen Sturze aufbewahrt werden). Der ganze Vorgang muß so schnell als möglich vor sich gehen, um das Eindringen fremder Keime aus der Luft nach Möglichkeit zu verhindern.

Erwärmt man die noch keimfreie Eprouvette in geneigter Lage bei gelinder Wärme, bis die Gelatine schmilzt, und läßt sie dann in derselben Stellung abkühlen (siehe die obere Eprou-

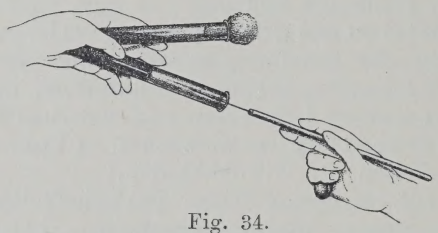


Fig. 34.

vette der Figur), so kann man mit der Nadel an der Oberfläche der Gelatine entlang streichen und erhält so die Form der „Strichkultur“.

Je öfter man von einer Eprouvette in eine zweite überimpft, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, eine Reinkultur zu gewinnen.

Impft man aus einer Eprouvette in eine zweite um, so ist der Vorgang ganz ähnlich, nur hält man beide Eprouvetten in der Linken, oben die sterile, unten die abzuimpfende. Die Reihenfolge der Handgriffe, die gut einzuüben sind, ist folgende: 1. Durchziehen der Nadel durch die Flamme. 2. Entfernen des unteren Wattepfropfes. 3. Einstechen der Nadel. 4. Neuerlicher Verschluß der Eprouvette. 5. Öffnen der oberen Eprouvette. 6. Einstechen der Nadel. 7. Verschluß der oberen Eprouvette.

Man vergesse nicht, die Eprouvetten mit Aufschriften zu versehen, um Verwechslungen zu vermeiden.

Die verschiedenen Bakterien zeigen nun in der Kultur nicht dasselbe Verhalten, vielmehr ist das Aussehen der letzteren sehr mannigfaltig und meist so charakteristisch, daß man hieran

oft mit Sicherheit die einzelnen Arten voneinander unterscheiden kann, die unter dem Mikroskop nur zu häufig die größten Ähnlichkeiten miteinander aufweisen. Die einen Bakterien verflüssigen zum Beispiel die Gelatine, andere nicht; oft treten gewisse Gase und Gerüche in der Kultur auf oder die Bakterienmassen besitzen eine bestimmte, nur ihnen zukommende Färbung u. a. m.

Hat man aus einer unreinen Kultur nach mehrmaligem Überimpfen mehrere gleichzeitig hergestellte neue Kulturen erhalten, welche untereinander genau dasselbe Verhalten zeigen, dann kann man annehmen, die gesuchten Bakterien in Reinkultur vor sich zu haben, mit denen dann weitere Versuche angestellt oder verschiedene Wirkungen erzielt werden können. So kann zum Beispiel der Arzt solche Kulturen oder durch ihre Tätigkeit entstandenes flüssiges „Serum" als Schutzmittel gegen Infektionskrankheiten einimpfen, wohl der großartigste Erfolg der Methode der Reinzüchtung von Bakterien. (Über andere Kulturen von Bakterien und niederen Pilzen siehe unter „Gärung".)

Von dem Sterilisieren durch Einwirkung von Hitze (namentlich von heißen Wasserdämpfen) macht man bekanntlich mit größtem Erfolge praktische Anwendung bei der Bereitung von Konserven jeder Art. Außer diesen Mitteln benützt man auch noch das Ausglühen von Metall- oder Glasgeräten und das Reinigen derselben mittelst Karbol, Jodoform, Sublimat, Formaldehyd oder Lösungen von übermangansaurem Kali zum „Desinfizieren", das heißt Abtöten von Keimen auf irgendwelchen Körpern, ein Verfahren, das namentlich in der Chirurgie bei der antiseptischen Wundbehandlung zu vollkommenster Ausbildung gebracht worden ist.

Aufgaben.

1. Suche Sauerstoffausscheidung an abgeschnittenen Lorbeerblättern nachzuweisen. (Vgl. Vers. 108.)

2. Untersuche den Einfluß der Temperatur auf die Stärkebildung. (Vgl. Vers. 117.)

3. Mache die Jodprobe an weiß panaschierten Blättern (von *Acer Negundo* u. a.), welche tagsüber unter guten Assimilationsbedingungen gewesen waren; vergleiche das Verhalten der weißen und grünen Partien miteinander (Vers. 117, 2).

4. Wenn eine Sonnenblume täglich 50 *g* CO_2 verbraucht, für wieviel solcher Pflanzen würde die abgeschlossene Atmosphäre eines Wohnzimmers von bekannten Dimensionen — günstige Assimilationsverhältnisse vorausgesetzt — hinreichen? (Vgl. CO_2-Gehalt der Luft S. 12. 1 *l* CO_2 wiegt 1·96 *g*.)

5. Wieviel Liter Luft müssen einer Pflanze, deren Trockengewicht 240 *g* beträgt, zugeströmt sein, wenn letztere einen

Kohlenstoffgehalt aufweist, der 46% der Trockensubstanz ausmacht? (Vgl. die Berechnung auf S. 68.)

6. Wenn ein Mensch täglich 900 *g* CO_2 ausatmet, wie viele Menschen könnten durch ihre Atmungstätigkeit den CO_2-Bedarf eines *ha* Laubwaldes decken, der jährlich 11.000 *kg* CO_2 verarbeitet?

7. Wenn jeder *ha* Erdoberfläche — diese zu 135 Millionen km^2 Land angenommen — durchweg mit solchen Laubwäldern bestanden wäre, wieviel *kg* CO_2 würde diese Waldmasse jährlich verbrauchen und wie lange käme sie mit dem Vorrate von 2.500 Billionen *kg* CO_2 aus, der in der Erdatmosphäre vorhanden ist?

8. Miß die Lichtstärke im Walde und auf einer freien Wiese daneben, ebenso an verschiedenen Pflanzenstandorten, ferner an der Nord- und Südseite eines Strauches (der Insolator ist horizontal zu halten).

Halte den Insolator parallel zu verschieden geneigten Blättern, um die Stärke des senkrecht auf diese auffallenden Lichtes zu ermitteln. (Vers. 128.)

9. Bestimme die Anzahl der bei der CO_2-Assimilation ausgeschiedenen Sauerstoffblasen bei verschiedenen Lichtstärken. (Vers. 110 und 128.)

10. Untersuche die Schnelligkeit des sichtbaren Ergrünens bei verschiedenen Temperaturen. (Setze gleichalterige Weizenkeimlinge gleichzeitig verschiedenen Temperaturen aus, aber denselben Beleuchtungsverhältnissen!)

11. Lege eine frische Kartoffel ins Licht; sie wird nach einiger Zeit grün, namentlich an abgeschälten Stellen. Wiederhole den Versuch bei verschiedenen Lichtstärken.

12. Ein kleines Töpfchen mit Keimlingen von Weizen oder Kresse, welche in völliger Dunkelheit erwachsen sind, wird in ein höheres, undurchsichtiges Gefäß gestellt und dieses mit einem unversehrten grünen Blatte einer Sonnenrose (oder einer anderen großblättrigen Pflanze) so bedeckt, daß letzteres über den Rand vorsteht; darüber wird eine Glasplatte gelegt. Zu den Keimlingen kann also nur Licht dringen, welches das chlorophyllgrüne Blatt durchsetzt hat. — Untersuche, ob die Keimlinge ergrünen oder nicht.

13. Stelle grüne, aber entstärkte (Vers. 119) *Phaseolus*-Keimlinge ebenso auf und untersuche, ob die Blätter Stärke bilden können. (Vers. 117, 2.)

14. Lege photographisches Papier unter ein weiß panaschiertes Blatt und bedecke dieses mit einer Glasplatte. Dringt mehr Licht durch die grünen oder durch die weißen Blatteile? (Vers. 135.)

15. Untersuche, ob das Anthokyan an Keimlingen des Buchweizens im Lichte oder im Dunkeln entsteht. (Seite 90.)

16. Warum sind die Blätter (und Stengel) von Alpenpflanzen oft rot? (Anthokyanhältig. — Vgl. S. 90.)

17. Versuche *Orobanche* auf anderen Samen, als in Vers. 137 angegeben, zum Keimen zu bringen.

18. Untersuche, ob in *Orobanche* und in anderen nichtgrünen Phanerogamen Chlorophyll vorkommt. (Vgl. Vers. 32.)

19. Enthalten Pilze Chlorophyll?

20. Bringe abgefallene Blätter und vermodernde Zweigstücke, die den Waldboden bedecken, in einen „feuchten Raum“ (Vers. 81), dessen Glasbestandteile vorher sterilisiert worden sind (Vers. 139). Es entwickeln sich oft verschiedene Pilze darauf.

21. Erhitze Kleesamen nach Anweisung des Vers. 140, 1, und prüfe sodann ihre Keimfähigkeit.

22. Füge zu einer Bakterien(oder Schimmelpilz)kultur einige Tropfen einer verdünnten wässerigen Lösung von übermangansaurem Kali (oder Formaldehyd, Karbol). Versuche zu ermitteln, bei welcher Verdünnung dieser Substanzen die Kulturen noch nicht geschädigt werden (sich noch weiter ausbreiten). (Vgl. S. 101.)

Die Stickstoffernährung.

Eingehende chemische Analyse (vgl. Vers. 34 und 36) hat gezeigt, daß jede Pflanze, ohne Ausnahme, in allen Teilen Stickstoff (Nitrogen, *N*) enthält. Wir haben aber früher die Frage nach der Herkunft dieses Stoffes offen gelassen, dessen außerordentliche Bedeutung für das Pflanzenleben ganz augenfällig wird, wenn man bedenkt, daß das Protoplasma, das man als die Grundlage aller Lebensvorgänge aufzufassen hat, stets zu etwa einem Drittel aus Eiweißkörpern (= Proteïnstoffen) besteht, welche durchschnittlich 15% Stickstoff führen.

Als mutmaßliche Quellen für denselben kommen der Erdboden und die Luft in Betracht. Im Erdboden (und im Wasser) tritt der Stickstoff der überwiegenden Menge nach in gebundener Form, das heißt in chemischer Verbindung mit anderen Stoffen auf. Diese Stickstoffsalze haben wir bereits als Nitrate (= salpetersaure Salze) und Nitrite (= salpetrigsaure Salze) im Substrat nachweisen können (Vers. 18, 1 und 2). Außerdem kommen hier aber auch noch Verbindungen des Ammoniaks (NH_3), Ammoniaksalze vor, die wir zu berücksichtigen haben.

Da der freie (gasförmige) Luftstickstoff etwa 79% der Atmosphäre ausmacht (S. 12), so liegt die Vermutung recht nahe, daß er es ist, der von den Pflanzen als Nahrungsquelle ausgenützt wird. Der größeren Einfachheit halber wollen wir prüfen, ob der Bodenstickstoff (in einer der genannten Verbindungsformen) von Bedeutung für die Ernährung ist. Wird diese *N*-Quelle den Wurzeln der Pflanze zugänglich gemacht, so kann die Pflanze entweder dabei gedeihen oder nicht. Wenn sie sich weiterentwickelt, während ihre Wurzeln in eine *N*-hältige Nährstofflösung eintauchen, so ist dieser Versuch ohne Beweiskraft. Geht die Pflanze aber in einer *N*-freien Nährlösung zugrunde, so folgt daraus, daß der den Wurzeln zur Verfügung stehende *N* zum Leben unentbehrlich ist, der Luftstickstoff hingegen, der den oberirdischen Organen in so großer Menge geboten wird, für das Wachstum und Gedeihen der Pflanze belanglos ist. Wir schließen bei diesem Versuche aus der Weiterentwicklung der Pflanze, daß sie tatsächlich zum Aufbau der neugebildeten Zellen (der Blätter etc.) *N* aufgenommen haben muß. Genaue Unter-

suchungen müssen auch ermitteln, wieviel Stickstoff die Pflanzen während des Versuches aufgenommen haben. Diese Menge muß — wenigstens annähernd — der der Umgebung entzogenen *N*-Menge gleich sein.

Der Boden als Stickstoffquelle der grünen Pflanze.

143. Vers. Wir kultivieren in einer Nährstofflösung von der früher gegebenen Zusammensetzung (Vers. 19, 1) Mais oder Buchweizen und die gleichen Pflanzen in einer Nährlösung, aus welcher wir den Stickstoff fortgelassen haben, indem wir statt des salpetersauren Kalkes schwefelsauren Kalk verwenden. Die Versuche müssen längere Zeit fortgesetzt werden, da die Samen selbst einen gewissen Vorrat an *N* besitzen, der zuerst aufgebraucht werden muß und mit dessen Hilfe sie eine Zeitlang auch ohne *N*-Zufuhr von außen sich weiterentwickeln können.

Es ergibt sich das Resultat, daß beide Pflanzen in derjenigen Nährstofflösung, welche ihren Wurzeln *N* als Nitrat darbietet, gut gedeihen (Boussingault 1860/61).

Noch aber ist die Frage offen, ob auch Ammoniaksalze als Nahrungsmittel dienen können. Der ziemlich beträchtliche Gehalt der natürlichen Düngemittel, wie Stallmist, Jauche u. a. an Ammoniak schien Liebig (1840) zunächst auf eine große Rolle, die diesem Stoffe zukomme, hinzuweisen. In dieser Anschauung bestärkte noch der Umstand, daß die Bodenteilchen eine starke Absorptionskraft dem Ammoniak gegenüber aufweisen. (Vgl. S. 31 und Aufg. 1.) Wir müssen jedenfalls den Versuch entscheiden lassen.

144. Vers. Wir verändern die Nährstofflösung des Vers. 19, 1, indem wir statt salpetersauren Kalk 0·5 *g* phosphorsaures Ammon ($[NH_4]_3\,PO_4$) und 0·5 *g* schwefelsauren Kalk ($CaSO_4$) anwenden. Die Lösung soll stets schwach sauer reagieren. (Nach Detmer.) In dieser Nährstofflösung kultivieren wir Mais und Buchweizen in zwei getrennten Gefäßen.

Es bleibt freilich strittig, ob die Ammoniaksalze als solche aufgenommen werden oder nicht vielleicht zuerst eine Umwandlung erfahren (vgl. Nitrifikation); jedenfalls können aber gewisse Pflanzen diese Stickstoffverbindungen verwerten, wie der Versuch lehrt: Der Mais wird sich bei dieser Kultur vielleicht ebensogut entwickeln wie bei der Darbietung von Nitraten; der Buchweizen aber gedeiht bei Ammoniakfütterung entschieden weniger gut als im vorigen Versuche.

Manche Pflanzen entwickeln sich also bei Ammoniaknahrung mindestens ebensogut wie in Nitratlösungen (Mais), während andere (Buchweizen, Geranien, Fig. 35) jedenfalls die Salpetersäure (wie wir kurz statt salpetersaure Salze sagen wollen) bevorzugen. Alle diese Pflanzen aber können in derjenigen Nährstofflösung, in welcher keine Stickstoffverbindung geboten wird, sich nicht normal weiterentwickeln.

Ohne Stickstoff gibt es demnach ebensowenig ein Pflanzenleben wie ohne Kohlenstoff; jeder dieser Stoffe ist zum Gedeihen der Pflanze unumgänglich nötig sowie die schon früher genannten Elemente *K*, *Ca*, *Mg*, *Fe*, *S* und *P* (vgl. S. 10).

Die Pflanzen decken dabei ihren *N*-Bedarf merkwürdigerweise nicht aus dem unerschöpflich erscheinenden Luftreservoir, sondern aus dem Erdboden.

25 *g* Ammoniak-Stickstoff. 25 *g* Salpeter-Stickstoff.

Fig. 35.
Stickstoffdüngungsversuch mit Geranien. (Nach Weihenstephan.)
Außer den oben angegebenen Stickstoffmengen erhielten beide Gefäße noch 200 *g* 40% Kalisalz und 80 *g* Superphosphat.

Es dürfte diese überraschende Tatsache mit dem Umstande zusammenhängen, daß das Stickstoffgas überhaupt eine geringe Neigung hat, sich mit anderen Stoffen zu verbinden, also auch in Gasform von der Pflanze nicht weiter in den Stoffwechsel einbezogen werden kann.

Ob die grüne Pflanze sich auch mit Nitriten allein zufriedenstellen läßt, ist eine noch nicht entschiedene Frage, welche in

neuester Zeit in bejahendem Sinne beantwortet worden ist (Treboux 1904). Da wir später Vorgänge werden kennen lernen, welche die Nitrite des Bodens in Nitrate umwandeln, ist dieses theoretisch interessante Problem für uns von geringerer Wichtigkeit und ändert in keinem Falle etwas an den folgenden Schlüssen. — Siehe Nitrifikation.

Stoffverbrauch und Düngung.

Solche Pflanzen wie der Mais und alle anderen Getreidearten unter den Kulturpflanzen entnehmen also, wie die landwirtschaftliche Praxis seit langem weiß, dem Boden ununterbrochen große Stickstoffmengen. Da beim Getreidebau die ganze Ernte fortgeführt wird, muß der Boden, der von solchen „Stickstoffverzehrern" besiedelt war, an diesem wichtigen Nahrungsmittel ärmer werden, jede nachfolgende Ernte immer weniger Ertrag liefern. Somit ergibt sich für den Landwirt die unbedingte Notwendigkeit, solchem Boden künstlich unter anderen Nährstoffen auch Stickstoff in Form von organischem, „natürlichem" Dünger (Stallmist, Guano, Knochenmehl u. a. m.) oder von unorganischem, „künstlichem" Dünger (Chili-, d. i. Natronsalpeter, schwefelsaures Ammoniak) zuzuführen. Die alte Erfahrung, daß Pflanzen an Orten, wo sich organische Abfälle ansammeln, besonders üppig gedeihen, hat die Düngungspraxis hervorgerufen, die es zu hoher Ausbildung gebracht hat, bevor man einen Einblick in den ursächlichen Zusammenhang der Erscheinungen gewonnen hatte.

Man macht sich gewöhnlich ganz unzulängliche Vorstellungen von den großen, ohne Düngung sogar uneinbringlichen Verlusten an Nährsalzen, die unsere Kulturböden durch das Wegführen der Ernte erfahren. Als Beispiel sei die Berechnung der von einem Hektar Kartoffelfeld dem Boden entzogenen Salzmengen vorgeführt. Nehmen wir für die genannte Fläche als durchschnittlichen Ernteertrag (österreichischer Ernteertrag 1904) 84·9 *q* an Knollen (ohne Kartoffelkraut) mit einem Trockengewichte von 21·2 *q* an, deren Aschengehalt etwa 3·8% der Trockensubstanz beträgt; d. h. die genannte Kulturpflanze hat aus 1 *ha* Boden rund 40 *kg* Mineralstoffe aufgenommen. Von diesen entfallen auf

Kaliverbindungen	60·0%	das	ist	rund	24·0 *kg*
Kalziumverbindungen	2·6%	„	„	„	1·0 „
Magnesiumverbindungen	4·9%	„	„	„	1·9 „
Eisenverbindungen	1·0%	„	„	„	0·4 „
Phosphorverbindungen	16·9%	„	„	„	6·5 „
Schwefelverbindungen	6·5%	„	„	„	2·6 „

(der Rest verteilt sich auf einige andere Aschenbestandteile).

Als besonders bemerkenswert sei darauf hingewiesen, daß der größte Anteil an den Aschenbestandteilen den Kali- und Phosphorsalzen zukommt. Auch die Analyse anderer Kulturpflanzen hat

gezeigt, daß die beiden Nährstoffe *K* und *P* in der Asche meist in auffallend großem Prozentanteile gegenüber den übrigen Aschensubstanzen zu finden sind.

Nehmen wir den Stickstoffgehalt der Knolle zu 2% des Lebendgewichtes an, so ergibt die Rechnung für den Ackerboden einen Verlust von rund 1·7 *kg N* pro Hektar. Weit größer als bei dieser an sich stickstoffarmen Knollenfrucht (das Kraut wurde nicht in Rechnung gezogen) ist der Reichtum an Stickstoffverbindungen z. B. in der Weizenfrucht, durch deren Ernte dem Hektar etwa 80 *kg N* entzogen werden, was einem Stickstoffgehalt von 14·3% der Trockensubstanz entspricht, während er in Linsen gar auf 29·3% steigt.

Heutzutage macht man von der künstlichen Düngung nicht nur in der Landwirtschaft, sondern auch in der Forstkultur und im Gartenbaue umfassende Anwendung. Man führt den Böden dabei namentlich drei Elemente von außen zu: Kali (*K*), Phosphor (*P*) und Stickstoff (*N*) und wir verstehen nunmehr wohl, daß gerade *N* für die Entwicklung der Pflanzen von größter Bedeutung ist und daß die zwei ersten Stoffe, als Düngemittel verwendet, demnach noch des gleichzeitigen Zusatzes eines Stickstoffsalzes bedürfen, um üppiges Gedeihen der Pflanze herbeizuführen.

Um uns von dem Werte der gebräuchlichen Düngemittel zu überzeugen, sei folgender Versuch ausgeführt.

145. Vers. Auf je 10 *l* Wasser lösen wir 10 *g* Doppelsuperphosphat (im wesentlichen ein Gemenge von $Mg\,HPO_4$, $Ca(H_2PO_4)_2$ und $2\,CaSO_4$), 10 *g* Chlorkalium (KCl) und 30 *g* Chilisalpeter ($NaNO_3$). Damit begießen wir, statt mit gewöhnlichem Wasser, eine Topfpflanze, deren Erde vorher nicht ausgetrocknet sein darf (sondern eventuell früher mit gewöhnlichem Wasser begossen wird). Sollten auch die Blätter mit dieser Nährlösung besprengt worden sein — was zu vermeiden ist — so werden sie mit Wasser abgespült.

Pelargonien, Fuchsien, Veilchen, Reseden oder Chrysanthemen begießt man im Beginne der Entwicklung wöchentlich einmal, später, zur Zeit des lebhaftesten Treibens, sogar zweimal in der Woche. (Primel, Zyklamen, Knollenbegonien behandelt man mit der obigen Lösung, nachdem man sie vorher zur Hälfte mit Wasser verdünnt hat, und zwar in der größten Wachstumsperiode nur etwa alle 8—10 Tage.) (Kulturanweisung nach Trenkner.)

Wir suchen nun drei möglichst gleich entwickelte Topfpflanzen derselben Art aus und begießen den ersten Topf nur mit gewöhnlichem Wasser, den zweiten mit der obigen Lösung, aus der wir den Chilisalpeter fortgelassen haben, endlich den dritten Topf mit der vollständigen Lösung.

Bei richtiger Kultur zeigt sich meist, daß nur bei gleichzeitiger *N*-Darbietung die Kaliphosphordüngung einen (dann allerdings auch sehr deutlichen) Erfolg erzielt.

In diesem Verhalten finden wir den Ausdruck eines Gesetzes, das als Gesetz des Minimums bezeichnet wird: *N*, *K*, *P* und andere Stoffe sind für die Pflanze unentbehrlich und müssen jeder in einer bestimmten Menge vorhanden sein; diese Mengen stehen in einem gewissen Verhältnisse zueinander, das anscheinend stets eingehalten wird. Ist nun ein Stoff in zu geringer Menge vorhanden, so hört die Entwicklung der Pflanze nach einiger Zeit auf, wenn der Stoff, von dem verhältnismäßig am wenigsten vorhanden war, aufgebraucht worden ist. Der Überschuß der anderen Stoffe, und sei er noch so groß, kann dann nicht mehr aufgenommen und verwertet werden: Der im Minimum vorhandene Nährstoff ist maßgebend für die gesamte Größe der Produktion. (A. Mayer 1902). Darum kann in unserem Versuche die Düngung mit Kali und Phosphor nur dann eine Steigerung der Produktion (der Stoffbildung) im Gefolge haben, wenn zur selben Zeit auch die Stickstoffverbindungen in der entsprechenden Menge hinzugefügt werden.

Das Verhalten der Leguminosen.

Die praktischen Landwirte hatten schon lange die Erfahrung gemacht, daß — wie uns nunmehr ganz begreiflich erscheint — der Stickstoffgehalt der Ernte rapid sinkt, wenn in aufeinanderfolgenden Jahren dasselbe Feld mit Getreide angebaut wird, ohne daß der mit der Ernte weggeführte Stickstoff durch Düngung neu ersetzt wird. Sie wußten aber auch, ohne eine Erklärung hierfür zu finden, daß der Ernteertrag wieder wesentlich gesteigert wurde, wenn man als sogenannte Zwischenfrucht Klee oder Lupinen (Leguminosen) anbaute. Obwohl diese Pflanzen selbst in allen Teilen sehr *N*-reich sind, lieferte der Boden bei neuerlichem Anbau von Getreide (Gramineen) eine auffallend günstige Stickstoffernte, die größer als vor Anbau der Leguminosen war. Letztere betrachtete man daher, im Gegensatze zu den anderen Pflanzen, als „Stickstoffsammler".

Man machte ferner die Beobachtung, daß man auf demselben Grundstücke ohne *N*-Düngung durch weit mehr als ein Dezennium hindurch Lupinen mit gutem Erfolge bauen konnte, daß die Leguminosen auch auf *N*-armen Böden gut gedeihen können und daß eine Stickstoffdüngung bei ihnen nicht dasselbe gute Resultat wie bei den Getreidearten im Gefolge hatte. Wir wiederholen letzteren Versuch im kleinen mit Topfpflanzen.

146. Vers. Wir behandeln mit der im vorigen Versuche angegebenen Düngelösung Mais und Bohnen in getrennten Töpfen. Gleichzeitig begießen wir eine zweite Partie dieser beiden Pflanzen mit obiger Lösung, der wir aber statt 30 *g* nur etwa 3 *g* Salpeter zugesetzt haben.

Die größere Stickstoffmenge im ersten Falle bewirkt auch eine weit bessere Entwicklung des Mais, während die Bohnen der beiden Versuchsreihen keinen so auffallend günstigen Einfluß der *N*-Düngung erkennen lassen (vgl. Fig. 36 und 37).

Die Leguminosen verhalten sich also bezüglich der *N*-Ernährung von den Gramineen prinzipiell verschieden. Dafür ließ sich aber kaum eine andere Vermutung aufstellen als die, daß den genannten Pflanzen eine ganz

0 *g* 1 *g* 2 *g* 3 *g*

Fig. 36.
Salpeterdüngungsversuche mit Weizen. (Nach Wagner.)
Außer gleichstarke Kali- und Phosphordüngung hatten die Gefäße noch obige Mengen Salpeterstickstoff erhalten.

andere *N*-Quelle als den Gramineen und den meisten übrigen grünen Gewächsen zur Verfügung stehen müsse und daß diese keine andere als der freie Luftstickstoff sein könne.

Um hierin völlig sicher zu gehen, hat man auch einen direkten, für uns zu schwierigen Versuch gemacht, indem man Leguminosen in einem abgeschlossenen Luftraum kultivierte, dessen *N*-Gehalt nach Beendigung des Versuches, während dessen die Pflanzen unter Vermehrung des *N*-Gehaltes gut gediehen,

geringer als anfangs war, weil eben tatsächlich die Versuchspflanzen gasförmigen *N* verbraucht hatten.

Die Leguminosen sind demnach durch die Fähigkeit ausgezeichnet, den freien Stickstoff der Atmosphäre als Nahrungsmittel verwerten zu können. (Hellriegel und Wilfarth 1886.)

0 *g* 1 *g* 2 *g* 3 *g*

Fig. 37.
Salpeterdüngungsversuche mit Erbsen. (Nach Wagner.)
Vgl. die Bemerkung bei Fig. 36.

Bei seinen Versuchen fand Hellriegel die anfangs unerklärliche Erscheinung, daß die einen Versuchspflanzen unter den Leguminosen, in Sand mit *N*-freier Nährlösung kultiviert, gut gediehen, andere Exemplare wieder nicht, ohne daß eine Krankheitsursache ersichtlich gewesen wäre. Da untersuchte er nun auch die Wurzeln dieser Pflanze und fand bei den normal sich entwickelnden Versuchspflanzen an den Wurzeln eigenartige

Knöllchen sitzen (die übrigens schon der italienische Arzt Malpighi [1687] gesehen hatte), während die verhungerten Pflanzen frei davon waren (Fig. 38) Demnach schien zwischen dem Gedeihen der Pflanzen, speziell der *N*-Aufnahme und dem Auftreten dieser Wurzelknöllchen ein ursächlicher Zusammenhang zu existieren. Es war schon bekannt, daß im Erdboden Bakterien existierten, welche den freien Luftstickstoff verarbeiten konnten, und außerdem wußte man von anderen Gewächsen, daß sie mit Bakterien zusammen in einem sich wechselseitig fördernden Verhältnisse, in sogenannter „Symbiose" (vgl. weiter unten) lebten. Hellriegel verfiel nun auf die Idee, diese Wurzelknöllchen könnten der Sitz ähnlicher Bakterien sein, welche, in Symbiose mit den Leguminosen lebend, diesen den freien Stickstoff der Atmosphäre nutzbar machten.

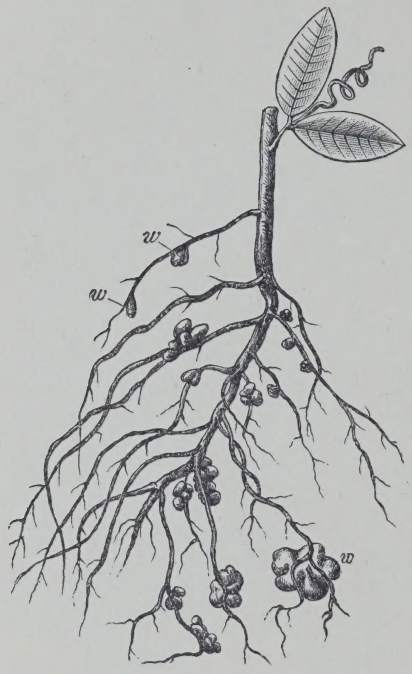


Fig. 38.
Erbsenwurzel mit Knöllchen (*w*). — Nat. Größe. — Nach Wiesner.

Die mikroskopische Untersuchung hat tatsächlich das Vorhandensein von Bakterien in den Knöllchengeweben ergeben, welche durch Absterben der Anschwellungen frei werden und so in den Boden gelangen. Es müßte also, so meinte Hellriegel, falls diese Organismen für die Stickstoffernährung tatsächlich von Bedeutung sind, gelingen, in *N*-freien Nährstofflösungen etwa Erbsen zur normalen Entwicklung zu bringen, wenn man etwas Erde von einem mit Erbsen bestandenen Felde hinzufügt; hingegen würden die Pflanzen voraussichtlich zugrunde gehen, wenn man diesen Bodenzusatz so stark erhitzt, daß die darin befindlichen Bakterien vorher alle abgetötet werden. Außer solcher Bodenimpfung würde aber auch eine direkte Impfung durch Übertragung der Bakterienknöllchen von Wurzel zu Wurzel möglich sein. Das Experiment hat ihm recht gegeben (Vers. 149).

Daß die winzigen Bakterien der Leguminosenpflanze einen nennenswerten Erfolg sollten aufweisen können, kann nur dann für unwahrscheinlich gehalten werden, wenn man nicht weiß,

daß ihre enorme Zahl die Kleinheit solcher Organismen wieder wett macht (für deren übrigens sehr energische Lebenstätigkeit wir noch manches Beispiel erfahren werden [siehe z. B. unter „Gärung"]). So hat man an den Wurzeln einer einzigen Erbsenpflanze gegen 4000 Bakterienknöllchen vorgefunden.

Während also die grünen Pflanzen den Stickstoff dem Erdboden entnehmen — wie wir gesehen haben, meist in der Form von Nitraten — hat man an gewissen Bodenbakterien sowie an den in die Leguminosenwurzel eingewanderten Organismen die Fähigkeit erkannt, den freien gasförmigen Stickstoff aufnehmen zu können. In neuester Zeit hat man dieselbe Eigentümlichkeit auch an Bakterien des Meeres kennen gelernt. Wir werden die Bedeutung solcher Organismen für den Kreislauf des Stickstoffes später noch näher verfolgen (S. 119).

Für die Landwirtschaft ist die Erkenntnis der Sonderstellung der Leguminosen von enormer Bedeutung geworden. Diese „Stickstoffsammler" sind ein billiges *N*-Düngemittel für Getreidefelder; keine Düngung kostet soviel Geld als die Salpeterdüngung, welche dem natürlichen Stalldünger oft weitaus überlegen ist (vgl. Seite 119).

Es ist recht lehrreich, zu sehen, wie schon die Römer zu Plinius' Zeiten (1. Jahrh. nach Chr.) dieses Düngungsverfahren ausübten, das vor nicht zu langer Zeit bei uns erst wieder entdeckt wurde und darin besteht, daß man auf stickstoffarmem Boden Lupinen baut, die ja hier gedeihen können, und es diesen im Vereine mit ihren Knöllchenbakterien überläßt, den freien Luftstickstoff in gebundene Form überzuführen. Statt nun die so gewonnenen Stickstoffmengen (1 *ha* Lupinen führt dem Boden nicht weniger als 200 *kg N* zu! Vgl. ferner Aufg. 1—3) mit der Ernte wieder wegzuführen, werden diese Pflanzen eingeackert und so ihr Stickstoffgehalt dem Boden einverleibt, der dann auch „Stickstoffzehrer" zu ernähren vermag (sog. „Gründüngung"). Die Erklärung hierfür und das Verständnis der einschlägigen Vorgänge hat aber erst die genaue wissenschaftliche Forschung zu geben vermocht.

Die Eiweißbildung.

Halten wir daran fest, daß von den meisten grünen Pflanzen der Stickstoff in Form von salpetersauren Salzen durch die Wurzeln aufgenommen wird. Es bleibt nun unsere Aufgabe, ihn auf seinen Wegen und bei seinen Umwandlungen innerhalb der Pflanzen weiter zu verfolgen, damit wir uns ein ungefähres Bild von der Entstehung der Eiweißstoffe machen können. Ein näheres Eingehen hierauf verbietet sich hier um so mehr, als die meisten der sich aufdrängenden Fragen noch keine unzweideutige Antwort seitens der Pflanzenphysiologie erhalten haben.

Wir haben in den Pflanzen Stickstoff beim Verbrennen aufgefunden, können ihn aber auch in der lebenden Pflanze nachweisen, wozu wir vorteilhaft nitratreiche Gewächse verwenden:

147. Vers. Wir schneiden eine Zuckerrübe oder den Stengel einer *Tradescantia* durch und setzen zum austretenden Safte einige Tropfen des Reagens des Vers. 18, 1 zu.

Die Reaktion läßt die Gegenwart salpetersaurer Salze erkennen. Reich an Nitraten sind ferner Sonnenblumen, Kartoffel, Weizen und vor allem die auf wüsten Plätzen als Unkräuter wuchernden „Schuttpflanzen", zum Beispiel Nesseln, Gänsefuß, Fuchsschwanz, welch letzterer in der Trockensubstanz 15% Salpeter enthält.

Die Nitrate dürften aber innerhalb der Zellen, wo sie mit verschiedenen Substanzen in Berührung kommen, mancherlei Veränderungen erfahren, von welchen wir eine vorführen wollen. Der folgende Versuch soll aber mehr eine Möglichkeit illustrieren, denn als experimenteller Nachweis der tatsächlich in den Pflanzen herrschenden Verhältnisse betrachtet werden.

Gewiß werden die salpetersauren Salze in der Zelle auch mit Pflanzensäuren, zum Beispiel der so häufig auftretenden Oxalsäure zusammentreffen. Das Ergebnis dieser Begegnung zeigt uns folgender Versuch:

148. Vers. Man stellt eine Lösung von etwa 0·5 *g* salpetersaurem Kalk in 1 *l* destilliertem Wasser her. Sodann löst man 0·9 *g* Oxalsäure in einer gleichen Wassermenge. Mischt man beide Lösungen, so bildet sich ein Niederschlag, dessen Menge nach einigen Tagen noch zunimmt. Der Vorgang war folgender: Salpetersaurer Kalk + Oxalsäure = Oxalsaurer Kalk + Salpetersäure. (Nach Detmer.)

So läßt sich die Bildung des in pflanzlichen Geweben so häufig auftretenden oxalsauren Kalkes erklären, dessen oft nadelförmige Kristalle als Schutzmittel gegen Schneckenfraß aufgefaßt werden. Gleichzeitig wird so auch die giftige Oxalsäure in feste, unlösliche und darum unschädliche Form gebracht. Die bei diesem Prozeß frei werdende Salpetersäure wird sofort weiter verarbeitet, das heißt in andere Verbindungen übergeführt, ein Vorgang, den wir später besprechen werden. (S. „Eiweißsynthese".)

In solchen Fällen werden also die in der Pflanze vorhandenen Nitrate nicht aufgespeichert wie in der Rübe (Vers. 147), sondern verarbeitet, das heißt sie sind als Nitrate nicht mehr nachweisbar, sondern in eine andere, offenbar brauchbarere Verbindungsform übergeführt worden.

Untersucht man (unter dem Mikroskop) Blätter von *Pelargonium*, so zeigen normale Exemplare keinen oder nur einen geringen Nitratgehalt. Werden Topfpflanzen des genannten Gewächses ins Dunkle gebracht, so tritt nach etwa 4—6 Tagen eine Vermehrung der Nitrate, also eine Speicherung derselben auf. Stellt man den Topf jetzt in helles Licht, so sind nach 1—2 Wochen diese Nitratmengen wieder verschwunden, also in den Stoffwechsel einbezogen worden. Nimmt man stark

panaschierte Exemplare, das heißt solche, deren grüne Blätter mit größeren weißen chlorophyllfreien Flecken versehen sind, zu obigem Versuche und bringt diese Pflanzen nach Verdunklung ins Licht, so verschwinden die Nitrate nur in den grünen Blattpartien (Detmer-Schimper).

Daraus ergibt sich — für unsere Versuchspflanzen wenigstens — der Schluß, daß die Verarbeitung der Nitrate in den grünen Blättern unter Mitwirkung des Lichtes vor sich ging.

Die allerwichtigsten *N*-Verbindungen der Zelle sind die im Protoplasma nie fehlenden Eiweißkörper. Schon lange ist es darum das eifrigste Bestreben der Physiologen, ihre Bildung (Synthese) aus einfachen Substanzen nachzuweisen und genau zu erforschen; spielt doch das Protoplasma eine einzig dastehende Rolle bei allen Lebenserscheinungen der Organismen. Soviel ist sicher, daß die Nitrate bei der Eiweißbildung in entscheidendster Weise mitwirken, da sie die Träger des unentbehrlichen Stickstoffes sind, der im Eiweißmolekül neben *C*, *H*, *O* und *S* (eventuell auch *P*) auftritt. Es ist ferner klar, daß die Salpetersäure mit kohlenstoffführenden Substanzen zusammentreffen muß, um die Bildung des Eiweißmoleküls überhaupt zu ermöglichen. Vor allem werden wir dabei an die Kohlehydrate als *C*-Quelle zu denken haben. Diese bilden sich aber bekanntlich in den grünen Laubblättern bei entsprechender Beleuchtung in reicher Menge. Dorthin gelangen nun durch den Transpirationsstrom auch die Nitrate und so ist es nicht unwahrscheinlich, daß die Eiweißsynthese zum großen Teil wenigstens in diesen Organen vor sich gehen mag. Doch sei gleich hinzugefügt, daß man auch im Dunkeln Proteïnstoffe sich bilden sah, wenn man der Versuchspflanze außer einer vollständigen Nährstofflösung mit Nitraten auch noch Zucker zuführte. Jedenfalls ist die so wichtige Frage nach der Eiweißsynthese durch das lebende Protoplasma der Pflanzenzelle ungemein schwierig, weder Ort noch Art dieses Prozesses mit Sicherheit bekannt.

Die ungeheuren Massen des Stickstoffes, der $^4/_5$ der Atmosphäre bildet (vgl. Seite 12), sind, wie wir nunmehr wissen, direkt für die grüne Pflanze bedeutungslos; diese deckt ihren *N*-Bedarf nur aus den unorganischen Stickstoffverbindungen des Erdbodens, zu deren Aufnahme die Wurzeln befähigt sind (vgl. Vers. 143). Wir wissen aber bereits, daß die Menge dieser Stickstoffsalze — mögen sie der Pflanze als Nitrate, Nitrite oder Ammoniakverbindungen zur Verfügung stehen — ziemlich bald erschöpft wird (vgl. Seite 107). In der Tat hat die chemische Untersuchung gezeigt, daß in den Gesteinen, welche noch nicht von Pflanzenwurzeln durchsetzt waren, nur sehr selten und bloß in geringfügigen Mengen unorganische Stickstoffsalze anzutreffen sind. Um so auffallender ist es daher, wenn sich die sich selbst

überlassene Pflanzendecke jahraus, jahrein in gleicher Üppigkeit erneuert. Zwar werden beim Absterben der Vegetation die meisten Mineralsalze dem Erdreiche in einer wieder aufnahmsfähigen Form zurückgegeben. Beim Stickstoffe aber liegen die Verhältnisse nicht so einfach. Allerdings werden auch Nitrate dem Boden wieder zurückgegeben, wenn eine Pflanze abstirbt; aber die große Masse des *N* ist von der Pflanze in organische Bindung gebracht worden; sie hat den Stickstoff ja zum Aufbaue der Eiweißkörper (=Proteïne) verwendet, welche von den Wurzeln der grünen Pflanze nicht aufgenommen werden. (Vgl. „Saprophyten", Seite 121.)

Die Bodenbakterien und der Kreislauf des Stickstoffes.

Somit müssen wir annehmen, daß die Nitrate des Bodens — als die wichtigste *N*-Quelle der grünen Gewächse — beständig in der Natur neu entstehen. Das Nächstliegende ist, an den Luftstickstoff als Ausgangsmaterial für diese Neubildung zu denken. Nun wissen wir freilich, daß elektrische Entladungen das *N* zu Salpetersäure (HNO_3) oxydieren können; und Boussingault fand, daß 1 *l* Regenwasser etwa 1—3 *mg* Salpetersäure enthalten kann. Doch beträgt deren Menge im Jahre für 1 *ha* Bodenfläche nicht einmal 1 *kg*! Im Vergleiche etwa zu dem Stickstoffgehalte eines Kartoffel- oder Weizenfeldes (Seite 108) bedeutet das verschwindend wenig. (In neuester Zeit beginnt man fabrikmäßig den Luftstickstoff in gebundene, als wertvolles Düngemittel brauchbare Form überzuführen.)

Den Leguminosen (Hülsenfrüchtlern) kommen in dieser Not mikroskopisch kleine Organismen zu Hilfe, welche in früher ungeahnter Weise durch die unschätzbare Fähigkeit ausgezeichnet sind, den atmosphärischen Stickstoff unmittelbar aufnehmen und verwerten zu können (vgl. Seite 112).

149. Vers. 1. Lasse sorgfältig gereinigte Erbsensamen in einem Topfe sich entwickeln, der mit Erde eines mit Erbsen bestandenen Feldes gefüllt wird.

2. Gleichzeitig stellt man eine ebensolche Kultur auf, deren Erde vorher im Dampftopfe (Vers. 139) einige Stunden sterilisiert worden ist.

3. Eine dritte Kultur wird wie in 2 vorbereitet, aber der Erde noch etwa 20—30 cm^3 eines wässerigen Auszuges aus der Erde eines Erbsenfeldes zugesetzt. (Diesen Extrakt bereitet man, indem man etwa 2 *dkg* „Erbsenerde" in einem Kolben mit $^1/_4$ *l* Wasser fest schüttelt; nach dem Absetzen der Erdteile gießt man die klare Flüssigkeit ab, welche dann der Topferde in der angegebenen Menge zugesetzt wird.)

Alle drei Kulturen sind unter gleichen Bedingungen aufzustellen, namentlich gleichmäßig zu begießen. (Die unbedeutenden Mengen von Stickstoffsalzen im Bodenextrakt können ganz außer acht gelassen werden.)

Es wird sich herausstellen, daß die zweite Kultur der Erbsen gegenüber der ersten in der Entwicklung zurückbleibt,

da die Knöllchenbakterien durch das Sterilisieren abgetötet worden sind; auch konnten sich keine Wurzelknöllchen entwickeln. In der dritten Kultur wurde der Boden aber durch Zusatz des Extrakts mit den Bakterien geimpft, welche nach dem Absterben der Wurzelknöllchen in die Erde zurückgelangt waren; es ist also in diesem Falle den Versuchspflanzen wieder die Möglichkeit geboten, Knöllchen zu bilden und sich die Wirksamkeit der in diesen hausenden Bakterien zunutze zu machen.

Durch das gemeinschaftliche Zusammenleben mit diesen Bakterien des Bodens kommen die Bohnen, Erbsen und Verwandte somit nie in die Gefahr, an dem so wichtigen Stickstoffe Mangel leiden zu müssen. Aber wir wissen auch, daß der weitaus überwiegenden Mehrzahl der Pflanzen der unerschöpfliche Reichtum des Luftmeeres an Nitrogen völlig verschlossen ist. Es muß also noch andere Wege geben, welche den Stickstoff in die für alle übrigen Pflanzen so geeignete Form der Nitrate oder, allgemeiner gesagt, unorganischer Verbindungen überführen.

Verfolgen wir das Schicksal der *N*-Verbindungen einer Pflanze, welche nach deren Absterben als Proteïne in den Erdboden gelangen. Es ist allgemein bekannt, daß tote Pflanzenteile ebenso wie abgestorbene tierische Substanzen oder die Ausscheidungen des lebenden Tieres, wie Harn und Exkremente, einer Zersetzung unterliegen: aus Kompost(Dünger)haufen entweicht sehr bald ein durchdringender Geruch, der sich aus den verwesenden Pflanzen- und Tierstoffen entwickelt und auf die Bildung von Ammoniak zurückzuführen ist (Aufg. 4).

Diese Gasbildung ist das Ergebnis der Lebenstätigkeit mikroskopisch kleiner Lebewesen, welche die Eiweißstoffe oder deren *N*-hältige Zerfallsprodukte zersetzen. Außer den allverbreiteten und in ihrer Wirksamkeit längst bekannten Fäulnisbakterien beteiligt sich auch speziell noch die Gruppe der Urobakterien (vgl. unter „Atmung“) an den Vorgängen der Verwesung und Fäulnis, der schließlich alle organische Substanz unterworfen ist und unter deren Endprodukten Ammoniak (NH_3) und Stickstoff auftreten.

Ein Teil dieses Ammoniaks entweicht wohl in die Luft, wird aber durch die Niederschlagswässer dem Boden wieder als Ammoniaksalz einverleibt, während der Rest von den Bodenteilchen sofort festgehalten (Aufg. 5; vgl. auch Vers. 55) und von manchen Pflanzen (zum Beispiel Mais, Vers. 144) als Nahrungsmittel verwendet werden kann.

Der Gehalt des Bodens an Ammoniak ist sehr schwankend: Lehmboden, der durch Verwitterung aus Granit entstanden ist, enthält an 22 *mg* NH_3, humusfreier Löß nur 7 *mg*, Sandboden gar nur 2 *mg* in 1 *kg* der trockenen Erde. Solche Zahlen

lassen besonders klar die Notwendigkeit und Bedeutung eines vielfach verzweigten Wurzelsystems erkennen (vgl. S. 31).

150. Vers. Man löst in 1 *l* destilliertem Wasser: $^1/_2$ *g* schwefelsaures Ammon [$(NH_4)_2SO_4$], 1 *g* saures phosphorsaures Kali (KH_2PO_4) und 10 *g* kohlensaure Magnesia ($MgCO_3$). In die Lösung gibt man noch eine kleine Menge Ackererde.

Das mit Watte verschlossene Gefäß bleibt nun einige Monate stehen.

Mache im Beginne des Versuches und nach ein bis zwei Monaten (nachdem sich die Flüssigkeit mit einem dünnen Häutchen bedeckt und ein Bodensatz gebildet hat) die Nitratprobe. (Vers. 18. — Nach Detmer.)

Zur Kontrolle stelle obige Lösung ohne Erdezusatz auf und untersuche sie ebenso.

Die Flüssigkeit erlangt allmählich einen großen Gehalt an salpetersauren Salzen. Die mikroskopische Untersuchung lehrt, daß in dem Bodensatze Bakterien in reicher Menge vorhanden sind. Alles in allem folgt aus unseren Beobachtungen und aus eingehenden Versuchen (vgl. auch Aufgabe 6), daß der größte Teil der Ammoniakverbindungen des Bodens durch die Lebenstätigkeit einer bestimmten Sorte von Bakterien zuerst in Nitrite, sodann in Nitrate übergeführt wird. (Winogradsky 1890—91.)

In diese Umwandlungsvorgänge (die sogenannte „Nitrifikation") teilen sich zwei verschiedene Bakterienformen: Zuerst treten die Nitritbakterien in Tätigkeit, welche das Ammoniak (NH_3) zu salpetrigsauren Salzen (= Nitriten, das ist zu HNO_2-Salzen) oxydieren.

Sie werden dann von den Nitratbakterien abgelöst, welche durch weitere Oxydation die Nitrite in die sauerstoffreicheren salpetersauren Salze (= Nitrate, das heißt zu HNO_3-Salzen) umwandeln, welche den grünen Pflanzen zugute kommen. Wir haben es hier nicht, wie man früher annahm, einfach mit chemischen Oxydationsprozessen zu tun, sondern sehen das lebende Protoplasma wiederum bei einer seiner mannigfachen und komplizierten Betätigungen an der Arbeit.

Diese Nitrobakterien, wie man sie mit einer allgemeinen Bezeichnung nennt, sind nun im Ackerboden, ja sogar auf bloßem Felsgestein außerordentlich verbreitet. Sie geben ein überraschendes Beispiel dafür, wie unendlich verkettet und ineinandergreifend sich das Getriebe der anscheinend zusammenhanglosesten Vorgänge im Naturhaushalte abwickelt. Unsichtbare Geschöpfe sind es, welche im Erdboden eine Wirksamkeit entfalten, welche die Grundlage und Voraussetzung für das Leben von Millionen höherer Pflanzen liefern, auf deren Existenz der Bestand der Tierwelt beruht.

Die Nitrobakterien sind durch eine Besonderheit ihres Stoffwechsels vor den (meisten) übrigen chlorophyllfreien Pflanzen ausgezeichnet: sie können so wie die hochorganisierte grüne Pflanze ihren Kohlenstoff aus dem freien Kohlendioxyd der Luft autotroph gewinnen, ohne hierzu der Energie des Sonnenlichtes zu bedürfen; ihre Energiequelle ist anderswo zu suchen. (Siehe „Atmung".)

Die so wichtige Nitratbildung durch die Nitrobakterien erfährt aber eine wesentliche Einschränkung durch die Wirksamkeit anderer Organismen, deren Tätigkeit sich gerade in entgegengesetzter Weise darin äußert, daß sie die salpetersauren Salze des Erdbodens zu sauerstoffärmeren Verbindungen reduzieren. Der Vorteil, den diese Denitrifikationsbakterien solcherart dabei gewinnen, wird uns später (siehe unter „Atmung") begreiflich werden.

151. Vers. Stelle eine nicht zu konzentrierte Salpeterlösung her und füge etwas frischen Pferdemist (dieser enthält die genannten Bakterien) hinzu. Man kann die Anordnung des Vers. 108 hierbei benützen, muß aber kleinere Gefäße hierzu verwenden. Ein brennend in die mit Gas gefüllte Eprouvette eingeführter Holzspan erlischt darin.

Unter Aufschäumen entwickelte sich gasförmiger Stickstoff. Freier Stickstoff ist das letzte Produkt, das sich nach allmählicher Umwandlung der Nitrate in Nitrite und Ammoniak bildet. Indem er in die Luft entweicht, bedeutet er für den Boden eine Verarmung an diesem wichtigen Nährstoffe. Da greift eine dritte Gruppe von Bodenbakterien als wirksames Gegengewicht ein. Man kennt Bakterien, welche den freien gasförmigen Stickstoff der Atmosphäre (und der Bodenluft) zu binden und dem Boden zu weiterer Verwertung einzuverleiben wissen (Stickstoffbakterien). Am sichersten ist diese Eigenschaft für das *Clostridium Pasteurianum* bekannt. In ähnlicher Weise, aber in symbiotischer Vereinigung (S. 112) mit den Leguminosen, sind die Knöllchenbakterien tätig, welche unter dem Namen *Bacterium radicicola* zusammengefaßt werden.

So tritt uns in der Natur ein wahrhaft großartiger und höchst komplizierter Kreislauf des Stickstoffes entgegen, dessen einzelne, einander oft entgegenwirkende Phasen schließlich einen Gesamteffekt ergeben, der im allgemeinen innerhalb gewisser Grenzen unveränderlich bleibt und so eine gleichmäßige Entwicklung der Vegetation ermöglicht und verbürgt.

Die *N*-Ernährung der nichtgrünen Pflanzen.

Daß auch bei den niederen Organismen zur unentbehrlichen Eiweißsynthese *N*- und *C* hältige Substanzen zusammentreffen müssen, ist klar. Zur Erläuterung seien folgende Kulturen angelegt:

152. Vers. 1. Stelle folgende Nährlösung her: 150 *g* Traubenzucker, 10 *g* weinsaures Ammon [$C_4 H_4 O_6 (NH_4)$], 0·2 *g* Magnesiumsulfat, 0·2 *g* phosphorsaurer Kalk, 2 *g* Monokaliumphosphat,

mit so viel destilliertem Wasser versetzt, so daß 1 *l* Lösung entsteht. — Füge etwas Hefe zu. (Nach Pasteur.)

2. Kultiviere Hefe auch in folgender Flüssigkeit: 100 *g* Rohrzucker, 2·5 *g* Asparagin ($C_4 H_8 O_3 N_2$), 1 *g* Monokaliumphosphat, 0·3 *g* Magnesiumsulfat mit destilliertem Wasser zu 1 *l* aufzufüllen. (Wie oben.)

Die Hefe gedeiht in dieser Flüssigkeit, in welcher der Zucker die Hauptquelle für Kohlenstoff, das Ammoniaksalz, beziehungsweise das Asparagin, für Stickstoff vorstellt, gut; sie muß also, wie ihre unter Vermehrung erfolgende Gärungstätigkeit anzeigt, zum Neubau der Zellen Eiweiß aus den genannten Substanzen synthetisch erzeugt haben. Die grünen Pflanzen erzeugen den Zucker selbst in den Blättern, während ihre Wurzeln die nötigen Stickstoffsalze aufnehmen.

Fig. 39. (Nach Molisch.)

Als Beispiel, daß außer den Fäulnisbakterien auch noch andere Bakterien von dem Kohlen- und Stickstoffgehalte der Eiweißstoffe sich zu ernähren vermögen, werde noch folgender Versuch angestellt, der uns mit einer höchst bemerkenswerten Lebensäußerung dieser Geschöpfe bekannt machen soll.

153. Vers. Ein Stückchen rohes Rindfleisch wird auf einem Teller mit einer dreiprozentigen Kochsalzlösung so weit übergossen, daß aus der Flüssigkeit noch eine kleine Fleischpartie in die Luft herausragt. Das Ganze wird mit einem Sturze bedeckt und an einem kühlen Orte im Dunkeln stehen gelassen. (Nach Molisch.)

Meist gelingt es, nach einigen Tagen das Fleisch im Finstern mit einem blassen Lichtscheine leuchten zu sehen. Es haben sich auf dem organischen Substrat „Leuchtbakterien" angesiedelt, welche durch ihre Lebenstätigkeit Lichtstrahlen aussenden. Auch im Meere kommen verschiedene Leuchtorganismen vor, namentlich erzeugen die leuchtenden Organismen tierischer Natur das lange bekannte Meerleuchten.

Dieses durch die Lebenstätigkeit von Organismen erzeugte Licht (zum Beispiel das Licht der Johanniswürmchen) hat die bemerkenswerte Eigentümlichkeit, fast nur leuchtende Strahlen

(oft über 90 Prozent) auszusenden, während unsere künstlichen Leuchtmittel zu etwa demselben Prozentgehalte Wärmestrahlen enthalten und nur der kleine Rest dem eigentlich beabsichtigten Zwecke des Leuchtens zukommt. Das „kalte“ Licht solcher Leuchtorganismen wäre das Ideal des Beleuchtungstechnikers, wenn es nicht lichtschwach wäre. Fig. 39 zeigt eine Reinkultur der Leuchtbakterien in Schalenkultur: die hellen Pünktchen stellen die einzelnen „Kolonien“ dar, welche aus je einem Bakterium ihren Ausgang genommen haben; das Bild wurde dadurch erhalten, daß die leuchtende Kultur in der Dunkelkammer mittels eines photographischen Apparates mit lichtstarkem Objektiv aufgenommen wurde, wobei sich die Bakterienkolonien in ihrem eigenen Lichte photographierten.

Fassen wir schließlich die verschiedenen Stickstoffquellen der chlorophyllfreien Pilze zusammen, so ergibt sich eine große Mannigfaltigkeit derselben; wir kennen Formen, welche organische Stickstoffverbindungen (Peptone, Asparagin) auf *N* ausbeuten (z. B. die Fäulnisbakterien, „Saprophyten“), während andere dies mit Ammoniak tun (Nitritbakterien), wieder andere den Stickstoff der Nitrite (Nitratbakterien) und der Nitrate (z. B. der Köpfchenschimmel) verarbeiten; endlich haben wir in den Stickstoffbakterien und den Bakterien der Leguminosenknöllchen Formen erkannt, welche sich den ungebundenen Stickstoff anzueignen verstehen. Gewisse Arten, wie z. B. die Hefepilze, sind in bezug auf ihre Stickstoffnahrung nicht so wählerisch und können Ammoniaksalze ebenso wie organische Stickstoffverbindungen verwerten.

Die Insektivoren.

Nur kurz sei hier einer Gruppe höherer grüner Pflanzen gedacht, welche durch ihre Vorrichtungen zum Zwecke der Anlockung und des Festhaltens von Insekten schon lange die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt haben. Es sind die insektenverdauenden Pflanzen, von welchen in unseren Gegenden der Sonnentau (*Drosera*) auf Torfmooren zu finden ist. (Will man diese Pflanze kultivieren, was am besten auf feuchtem Sphagnummoos in flachen Schüsseln und unter einem Glassturze geschieht, so darf man sie nicht mit kalkhältigem Wasser begießen!)

Wenn man auf die Blätter dieser Pflanze ganz winzige Fleisch- oder Eiweißstückchen legt, so werden diese nach einiger Zeit durch die Ausscheidung eigener Blattdrüsen in Lösung übergeführt und von der Pflanze aufgenommen. Es ist übrigens nachgewiesen, daß diese merkwürdigen Gewächse, welche in bezug auf Kohlenstoff autotroph sind, auch ohne Zufuhr von Eiweiß, bei Ausschluß von Insektenkost, gedeihen können. Doch sind ihre Ernährungsverhältnisse noch nicht durchaus geklärt, weshalb wir diese durch die eigentümliche Art des Stickstofferwerbes so auffallenden Pflanzen nur flüchtig gestreift haben.

Symbiose und Metabiose.

Nur der Vollständigkeit halber wollen wir hier noch desjenigen Zusammenlebens von verschiedenen Organismen gedenken,

welche in ein gegenseitig förderliches Verhältnis zueinander getreten sind (Symbiose). Die Mitglieder einer solchen Ernährungsgenossenschaft haben sich nach dem Prinzip der Arbeitsteilung aneinander angeschlossen, so, wenn *Bacterium radicicola* in den Wurzelknöllchen der Leguminosen auftritt. Man nimmt an, daß der Pilz der grünen Pflanze durch seine Art der *N*-Bindung von Vorteil ist, während diese ihm dafür Kohlenstoff liefert. Manche Symbionten (das heißt Glieder des symbiotischen Vereines) sind in ein so festes Verhältnis zueinander getreten, daß sogar ihre Gestaltungsprozesse dadurch verändert worden sind. Gewisse Algen haben sich mit Pilzen zu einem Ganzen vereinigt, das weder das Aussehen der ersteren noch die Formverhältnisse der letzteren zeigt. Vielmehr ist aus dieser Vereinigung eine Pflanzenform hervorgegangen, welche völlig den Eindruck eines neuen Organismus mit einheitlicher Ernährung macht: die sogenannten Flechten, welche die Rinde der Bäume und den nackten Felsen so häufig mit ihren sonderbaren Gestalten überziehen. Es wurde die Meinung verfochten, daß die Algen von dem Pilzbestandteile der Flechte Pepton beziehen, während der Pilz die Produkte der CO_2-Assimilation der grünen Alge verwertet.

Indessen sind auch in diesen letzteren Fällen die Ernährungsverhältnisse noch nicht völlig klargestellt, noch weit weniger aber bei der als Mycorrhiza bezeichneten Form von Symbiose. Ihr Merkmal besteht darin, daß an oder in den Wurzeln von gewissen Orchideen, Lebermoosen und bei vielen unserer Waldbäume Pilze auftreten, welche die Zellen erfüllen oder die Wurzel äußerlich gänzlich mit ihren Fäden umspinnen, wobei in letzterem Falle die Wurzelhaarbildung ganz unterdrückt wird. Nährsalze können hier nur durch die Pilzzellen aufgenommen werden; ob und welche Stoffe diese aber von der mit ihnen verbundenen Pflanze beziehen, bedarf noch eingehendster Untersuchungen.

Es gibt noch eine andere Art des Zusammenlebens verschiedener Organismen, welche in ihrer Ernährung aufeinander angewiesen sind; sie beruht in dem Nacheinanderauftreten derselben in einer bestimmten zeitlichen Reihenfolge („Metabiose"); in diesem Verhältnisse stehen zum Beispiel die eiweißzersetzenden Fäulnisbakterien, die Nitrit- und die Nitratbakterien zueinander, von welchen die nächstfolgenden immer die Tätigkeit der vorhergehenden zur Bereitung des ihnen zusagenden Nährbodens voraussetzen und verlangen, auf diese Weise einzelne aufeinanderfolgende Glieder darstellend, die sich mit anderen zur Kette des *N*-Kreislaufes zusammenfügen.

Aufgaben.

1. Auf einer Versuchsparzelle von 1 m^2 Größe werden Samen von Goldregen (einer Leguminose) ausgesät, deren gesamter Stickstoffgehalt 0·54 *g* betrug. Nach zweimonatlicher Versuchsdauer enthielten die geernteten Pflanzen 7·98 *g N*. Wie groß war der Stickstoffgewinn der Pflanzen pro 1 Hektar?

2. Wenn der Boden, welcher den im obigen Versuche angebauten Pflanzen zur Verfügung stand, vor Beginn der Kultur Stickstoff nur in unbestimmbarer (also minimaler) Menge enthielt; wenn ferner das zum Begießen nötige Wasser höchstens 0·5 *g N* geliefert hatte, der Boden nach Beendigung der Kultur aber 2·91 *g N* führte, wie groß war der Stickstoffgewinn des Bodens der Versuchsparzelle? Wie groß pro Hektar?

3. Berechne aus den Angaben der Aufgaben 2 und 3 die Gesamtmenge des Stickstoffes, der durch die Tätigkeit der Knöllchenbakterien des Goldregens in gebundene Form übergeführt (= „fixiert") wurde.

4. Bringe in Zersetzung begriffene Blätter (zum Beispiel aus dem Waldhumus) in ein weites Glas, stelle ein Schälchen mit Nesslers Reagens daneben und verschließe das Glas. Welche Veränderung ist am Reagens zu beobachten? Was ist daraus zu schließen? (Vers. 36; vgl. S. 117.)

5. Fülle ein Proberohr ganz mit Quecksilber und tauche es mit der Mündung in Quecksilber ein (vgl. Fig. 43). Bringe sodann unter die Mündung ein Klümpchen trockene Erde und lasse diese im Rohre aufsteigen. Nun wird in einer kleinen Gasentwicklungsflasche (oder Proberöhrchen) eine kleine Menge verdünnten Ammoniaks erwärmt. Wenn die Luft ausgetrieben ist, wird das entstandene Ammoniakgas durch ein Ableitungsrohr (wie in Fig. 44) in das quecksilberführende Proberohr eingeleitet, bis das Quecksilber aus diesem fast ganz verdrängt ist. Allmählich beginnt das Quecksilber wieder zu steigen. (Nach Osterhout.) Warum? (Vgl. S. 117.)

6. Versuche in den Lösungen des Vers. 150 Nitrite nach der Methode des Vers. 18 nachzuweisen.

7. Versuche auf verschiedenen Fleischproben oder Seefischen Leuchtbakterien zu züchten. (Vgl. Vers. 153.)

8. Wenn ein normaler Mensch täglich rund 130 *g* Eiweißstoffe braucht (nur diese, nicht der Stickstoffgehalt eines Nahrungsmittels sind für den Nährwert desselben maßgebend) und wenn Weizen, Linsen, Kartoffeln beziehungsweise 13·5, 26·5, 1·3% Eiweißstoffe enthalten, welche Mengen dieser Nahrungsmittel genügen seinem Bedürfnisse?

Wanderung und Wandlung der organischen Stoffe.

Da nur die grüne Pflanze durch den Besitz von Chlorophyllkörpern (= Chloroplasten) in die Lage versetzt ist, autotroph die organischen Bestandteile ihres Leibes aus unorganischen Nährstoffen aufzubauen — zu assimilieren — so folgt daraus ganz selbstverständlich, daß innerhalb der Zelle Wanderungen der Assimilate aus den Chloroplasten in die chlorophyllfreien Zellbestandteile stattfinden müssen. In noch viel größerem Maßstabe verlaufen die „Dislokationen" der organischen Stoffe aus den grünen Geweben nach den chlorophyllfreien hin, namentlich aus den Blättern zu den unterirdischen Organen, die in ihrer Ernährung auf erstere angewiesen sind. Jedoch ist die Wanderung der Assimilate nicht die einzige Stoffbewegung — neben der Leitung des „Nährwassers" — die wir anzunehmen gezwungen sind. Eine Bewegung organischer Verbindungen findet auch in einer Richtung statt, welche der ersteren im großen und ganzen entgegengesetzt gerichtet und länger als diese bekannt ist.

Das Auswandern der Reservestoffe.

154. Vers. 1. Bringe Küchenzwiebeln und Kartoffelknollen (keine heurigen) an einen dunklen Ort. Nach längerer oder kürzerer Zeit beginnen sie auszutreiben, d. h. Blätter oder auch Stengel zu bilden.

2. Schneide (nicht vor November) Zweige verschiedener, unbelaubter Holzgewächse ab und stelle sie mit der Schnittfläche in Wasser. Ihre Knospen öffnen sich und entwickeln allmählich Zweige mit Blättern oder Blüten.

3. Ein Knollen von *Sauromatum guttatum* (oder einer ähnlichen Art) wird an einem warmen Orte auf einem Teller ausgelegt. Ohne daß er begossen worden wäre, wächst aus ihm ein Blütenstand hervor.

Wir beobachten ferner an den Knollen und den Zwiebeln deutlich eine Abnahme des Volumens unter Schrumpfungserscheinungen.

Die genannten Versuchsobjekte entwickeln im Laufe der Zeit eine Anzahl Organe, welche zwar bereits früher angelegt, aber nicht ausgebildet waren. Zu ihrer Entfaltung war eine Reihe

von Stoffen nötig; denn wir finden bei der Analyse, daß sie außer Wasser und Mineralsalzen auch verschiedene organische Substanzen enthalten und daß sie an Masse und Gewicht zugenommen haben. Weil aber die jungen hervorbrechenden Blätter erst Chlorophyll bilden müssen, weil ferner die Neubildungen sogar auch bei Lichtmangel, also bei Ausschluß der CO_2-Assimilation vor sich gehen, so ist daraus zu folgern, daß die neu entstehenden Organe und Zellen die nötigen „Baustoffe", als: Wasser, Mineralsalze, Kohlehydrate, Eiweiß usw. aus den Zwiebeln, Knollen usf. bezogen haben müssen. Das Zusammenschrumpfen derselben ist der augenscheinlichste Beweis für die Richtigkeit unserer Ansicht. Letztere stellen also Speicherorgane für verschiedene Stoffe, sogenannte Reservestoffe dar, welche je nach Bedarf an die Orte des Verbrauches geschafft werden.

Von solchem Gesichtspunkte aus finden wir es nun erklärlich, daß so viele Frühlingspflanzen unserer Flora Zwiebel oder Wurzelstöcke besitzen und, wie zum Beispiel das Schneeglöckchen, zu einer Zeit sich zu entwickeln vermögen, wo die Assimilation des Kohlendioxyds, sei es durch den Mangel an Blättern, sei es infolge Ungunst der Witterung, noch nicht erfolgen kann; sie verbrauchen dabei den in ihren Reservestoffbehältern angesammelten Stoffvorrat, der allmählich aufgezehrt, aber durch die darauffolgende Assimilationsarbeit der grünen Gewebe, sei es in denselben, sei es in neu entstandenen Speicherorganen, neuerlich zubereitet und angesammelt wird (S. 79 ff).

Auch in den Zweigen der Holzgewächse sind Nahrungsvorräte für die im Frühjahre sich bildenden Organe aufgespeichert.

155. Vers. Quelle verschiedene Arten von Samen über Nacht in Wasser ein und lege sie dann zwischen feuchtes Fließpapier oder in Sägespäne. (Vgl. Anhang.) Beobachte ihre Entwicklung (= Keimung). Keimung.

156. Vers. Lege unter denselben Bedingungen Bohnensamen zum Ankeimen auf feuchtes Fließpapier, von welchen die einen trocken sind, während die anderen 1, 6, bezw. 12 Stunden in Wasser eingequollen waren.

Es ergibt sich, daß die länger gequollenen Samen, welche auch eine größere Menge Wasser aufgenommen haben, rascher zu keimen beginnen, während die trockenen Samen nur sehr langsam oder vielleicht auch gar nicht zur Entwicklung kommen. Wasser ist zum Keimungsprozeß dieser Samen unentbehrlich, es „aktiviert" die Zellen, welche vorher im lufttrockenen Zustande wie leblos waren, zu neuer Lebenstätigkeit, deren Folge die Bildung neuer Organe ist (vgl. „latentes Leben").

Wir lernen hier das Wasser in einer neuen Rolle kennen; es ist nicht nur als Transportmittel gelöster Stoffe (vgl. Tran-

spirationsstrom), sondern auch aus dem Grunde von größter Bedeutung für das organische Leben, da die Lebensvorgänge erst durch diesen Stoff in Gang gebracht, die Maschine des Organismus sozusagen durch das Wasser erst in Betrieb gesetzt wird.

Manche Samen brauchen aber trotz äußerer Wasserzufuhr sehr lange, bis sie keimen; dieser Keimverzug, der namentlich bei hartschaligen Samen (Robinie, Goldregen) auftritt, läßt sich abkürzen, wenn man die Samenschalen anfeilt oder einschneidet, ohne den Samen selbst zu verletzen; das leichtere Eindringen des Wassers beschleunigt jetzt die Keimung.

Die eben genannte Form der Samenruhe ist nicht mit der „Ruheperiode" derselben zu verwechseln, welche meist auf innere Ursachen zurückzuführen ist (vgl. „Ruheperiode").

157. Vers. Fülle eine Flasche bis zum Halse voll mit Erbsensamen und lege sie sodann in Wasser. Nach einiger Zeit ist die Flasche zersprungen.

Die Samen nehmen das Wasser begierig auf und vergrößern dabei ihr Volumen mit unwiderstehlicher Kraft. Diese enorme Quellungsfähigkeit leistet ihnen wichtige Dienste, indem dadurch die Samenschale zersprengt und so für die wachsende Pflanze erst die Möglichkeit der Entfaltung geschaffen wird. (Über die Arbeitsleistung des sich entwickelnden Keimlings, namentlich der Wurzeln vgl. unter „Wachstum".)

158. Vers. Lasse gleich lange angequollene Samen derselben Art bei verschiedenen Temperaturen keimen.

Die Schnelligkeit des Keimens hängt auch wesentlich von der herrschenden Temperatur ab und erfolgt bei einem gewissen Optimum derselben am raschesten, während bei Temperaturen, welche diesseits und jenseits des Optimums liegen, die Geschwindigkeit der Keimung abnimmt und bei einem für jede Pflanzenart bestimmten Minimum und Maximum unterbleibt. (Vergl. S. 75 und „Kardinalpunkte der Temperatur".)

Über den Einfluß des Sauerstoffes auf die Keimung vgl. unter „Atmung".

Dieselben Schlußfolgerungen, die wir aus der Erscheinung des Austreibens der Knollen und Zwiebeln gezogen haben, gelten auch für das Keimen der Samen (vgl. Aufgaben), bei welchen die Reservestoffe entweder in den oft dickfleischigen Keimblättern (= Kotyledonen) oder in einem anderen Speichergewebe aufgestapelt sind. Ähnlich wie ein Teil des Vogeleies als Nahrungsdotter Verwendung findet, so gibt die Pflanze den sich von ihr abtrennenden Teilen, zum Beispiel den Samen oder Früchten, Reservestoffe für den ersten Bedarf mit, bis die jungen Organe sich selbständig entwickeln können.

Die von uns beobachteten und alle übrigen Formen der Stoffwanderungen haben zur notwendigen Voraussetzung, daß die

wandernden Substanzen löslich sind und die Zellwände auf dem Wege der Osmose zu passieren vermögen. Diese zwei Grundbedingungen treffen aber zum Beispiel für die Zellulose oder gewisse Eiweißkörper, welche wir in den neugebildeten Zellen der jungen, aus der Kartoffel oder aus einer Knospe entwickelten Triebe finden, nicht zu. Die Zellulose hat sich in den letzteren nicht in fertigem Zustande fortbewegt, ebensowenig wie die feste Reservestärke wandern konnte, sondern letztere ist vorher in eine andere Form übergeführt worden.

Stoffumwandlungen und Enzymwirkung:

159. Vers. Schneide Gerstenkörner quer durch und mache die Jodprobe (Vers. 117): sie enthalten Stärke. Nunmehr lasse sie keimen und untersuche neuerdings auf Stärke; zerquetsche sie und prüfe das Filtrat auch auf Zucker. (Vers. 27.)

1. Kohlehydrate.

Die Stärke, welche anfangs die Zellen erfüllte, verschwindet allmählich und verwandelt sich in Zucker; dieser aber kann osmotisch weitergeleitet werden, um, an Ort und Stelle angelangt, als „plastischer" Stoff zum Aufbau der Zellwand Verwendung zu finden oder die Bestandteile für die Entstehung anderer *C*-Verbindungen abzugeben. Diese Überführung eines Kohlehydrats in ein anderes ist eine der am weitesten verbreiteten Umwandlungsformen, die uns im Pflanzenreiche begegnen. Namentlich die Zuckerarten erfahren zahlreiche Umformungen zu einer Reihe anderer organischer Verbindungen, Umformungen, deren Möglichkeit uns namentlich einleuchtet, wenn wir die chemischen Formeln (S. 14) von Zucker, Stärke, Zellulose miteinander vergleichen.

Speziell verwandelt sich die Stärke ($C_6 H_{10} O_5$), die als solche im Wasser unlöslich ist, in lösliche Glukose ($C_6 H_{12} O_6$), wobei ihrem Molekül die Elemente des Wassers ($H_2 O$) einverleibt werden („Konstitutionswasser").

Es ist wohl gestattet, auf diese Erscheinung der Stoffwandlung hinzuweisen, um es durch ein Beispiel zu belegen, daß der Überschuß des aufgenommenen Wassers gegenüber der Menge des transpirierten im Stoffwechsel der Pflanze eine wichtige Rolle spielt. (Vgl. S. 50.)

Wodurch wird nun diese Umwandlung der Stärke herbeigeführt? Sie erfolgt durch die Einwirkung einer in ihrer Zusammensetzung nicht näher bekannten Substanz, der Diastase.

160. Vers. Man läßt Gerstenkörner keimen. Wenn die Keimlinge etwa 1 *cm* lang sind, tötet man sie durch trockene Hitze.

Die so erhaltenen „Malzkörner" werden zerrieben (oder statt dessen käufliches Malzpulver verwendet) und mit etwa der vierfachen Menge Wasser zu Brei verrührt; nach kräftigem Umrühren desselben wird nach zirka einer halben Stunde abfiltriert. Das klare Filtrat enthält Diastase, mit anderen Stoffen vermischt, in Lösung.

Stärkekörner zeigen unter dem Mikroskop deutliche Spuren davon, daß sie von der Diastase angegriffen und allmählich aufgelöst werden. Wir ziehen es vor, einige Veränderungen an Stärkekleister zu verfolgen, dem Diastase zugesetzt worden ist.

161. Vers. Stärkekleister bereitet man, indem man etwas Stärkemehl in Wasser verrührt und diesen Brei in kochendes Wasser unter Umrühren einträgt, bis eine dickflüssige Lösung entsteht, welche sodann mit Wasser stark verdünnt wird; eine Probe der Lösung muß bei Jodzusatz (Vers. 117) noch deutliche Stärkereaktion, das heißt Blaufärbung zeigen.

162. Vers. Mit diesem Kleister füllen wir eine Eprouvette zu $^4/_5$ an und setzen die Diastaselösung zu; nach zehn Minuten oder später wiederholen wir die Stärkereaktion: es tritt Braunfärbung ein.

163. Vers. Käufliche, sogenannte „lösliche" Stärke wird unter Erwärmen in Wasser gelöst; eine Probe muß bei Jodzusatz die charakteristische Blaufärbung der Stärke zeigen. Sodann fügt man 10% Gelatine dazu und gießt die warme Masse über eine etwa handgroße gereinigte Glasplatte in dünner Schicht.

Hierauf schneidet man ein Malzkorn (siehe Vers. 160) in etwa sechs Querscheibchen, welche nicht zu dicht nebeneinander auf der Platte ausgelegt werden, deren Gelatineschicht inzwischen erstarrt ist.

Man bedeckt die Platte mit einer Glocke, um einen feuchten Raum zu erhalten (vgl. Vers. 81), stellt aber gleichzeitig ein Schälchen mit Chloroform zum Zwecke des Sterilisierens darunter.

Wird die Platte nach einigen Tagen in eine Schale (photographische Wanne) mit Jodlösung getaucht, so färbt sich die stärkehältige Platte blau, mit Ausnahme kreisförmiger Stellen um die Malzkörner herum, welche weißlich bleiben. (Mitunter tritt noch ein gelblicher Ring um die Scheibchen auf. [Nach Kolkwitz.])

Wir erkennen somit deutlich, daß die Stärke durch die Diastasewirkung umgewandelt worden ist.

164. Vers. 1. 1 cm^3 des oben (Vers. 160) bereiteten diastasehältigen Malzextrakts setzen wir zu erhitzter Fehlingscher Lösung (Vers. 27): wir erhalten nur schwache Zuckerreaktion.

2. Zu 50 cm^3 eines 1%igen Stärkekleisters (Vers. 161) fügen wir 2 cm^3 des Malzextrakts. Nach 12 Stunden unterwerfen wir etwa die Hälfte dieser Flüssigkeit ebenfalls obiger Zuckerprobe.

Nunmehr tritt starke Zuckerreaktion auf. Aus diesem Versuche läßt sich also erkennen, daß die Stärke durch die Diastasewirkung in Zucker umgewandelt worden ist.

Man hat sich diesen Umwandlungsprozeß so vorzustellen, daß das Stärkemolekül nach und nach verschiedene Umwandlungsstufen durchläuft, so zum Beispiel zuerst in „Dextrin" über-

geführt wird, das die Ursache des obenerwähnten gelben Ringes ist, und endlich Dextrose daraus entsteht.

165. Vers. Koche Malzextrakt und lasse ihn abkühlen. Setze ihn jetzt zu Stärkekleister und mache nach 12 Stunden die Stärkeprobe: es erfolgt Blaufärbung.

Die Diastase stellt bei hohen Temperaturen ihre Stärke umwandelnde Tätigkeit ein; sie verhält sich in dieser und in mancher anderen Beziehung wie ein Organismus und führt die Bezeichnung: Enzym (oder Ferment); man versteht hierunter eine Gruppe chemisch noch höchst unvollkommen bekannter Substanzen, welche durch ihre bloße Anwesenheit verschiedene Umwandlungen hervorrufen oder den Ablauf chemischer Reaktionen beschleunigen können, ohne selbst eine nachweisbare Verbindung einzugehen. Solche Enzyme spielen im Stoffwechsel ungemein bedeutende Rollen, sie leisten bei gewöhnlicher Temperatur das, was der Chemiker oft nur durch große Hitze oder unter Anwendung starker Reagenzien auszuführen vermag, durch welche die Pflanze einfach getötet würde. Ihre nähere Erforschung verspricht noch höchst wichtige Aufklärungen über die Lebensvorgänge zu geben.

2. Fette Öle.

Es gibt zahlreiche Samen, welche keine Kohlehydrate als Reservestoffe führen und die, trotzdem sie nur Fett (fettes Öl) oder Eiweiß speichern, imstande sind, in den neu entstehenden Zellen Zellulosewände, Stärkekörner oder Zucker zu bilden.

166. Vers. 1. Versuche an ungekeimten *Ricinus*-Samen, welche zerrieben und mit Wasser ausgekocht worden sind, die Zucker- und Stärkereaktion (Vers. 27 und 117, 2): die Samen sind in diesem Zustande frei von Zucker und Stärke, enthalten aber dafür (Vers. 31) fette Öle und Eiweiß als Reservestoffe (Vers. 34).

2. Lasse sie zwischen Sägespänen im Dunkeln ankeimen; aus dem Speichergewebe des Samens (dem „Endosperm"), in welchem noch die kleinen Keimblätter stecken, tritt die Wurzel und das hypokotyle Stengelglied aus (das heißt der unterste Teil des Stengels von der Wurzel bis zu den Keimblättern). Wenn die Hypokotyle etwa 6 *cm* lang geworden sind, werden sie vom Samen getrennt, ausgekocht und der Zuckerprobe (Vers. 27) unterworfen. (Nach Detmer.)

3. Mache durch den oberen, noch nicht ganz gerade gestreckten Teil des Hypokotyls unterhalb der Keimblätter einen Querschnitt und behandle das Scheibchen mit Jodjodkalium (Vers. 176, 2), nachdem vorher zur Aufhellung ein Tropfen Chloralhydratlösung (entstanden durch Auflösen von 10 Teilen Chloralhydrat in 8 Teilen destilliertem Wasser) zugesetzt wurde: es tritt deutliche Blaufärbung ein. (Siehe auch Aufgabe 8.)

Bei der Keimung haben sich aus dem fetten Öle, das so wie das Eiweiß allmählich verschwindet, Zucker und Stärke gebildet. (Vgl. Vers. 183.)

Es entsteht die Frage, wie denn das fette Öl, das in Tröpfchenform angetroffen wird, von Zelle zu Zelle wandern kann, da sich bekanntlich ein Gemisch von Öl und Wasser stets in zwei deutliche Lagen schichtet oder trennt.

167. Vers. Man mischt frisches Ricinusöl mit nicht zu wenig käuflicher Ölsäure, fügt nun $^1/_3$%ige wässrige Sodalösung zu und schüttelt durch: das Öl hat sich in eine ungeheure Zahl feinster Öltröpfchen aufgelöst, welche dem Ganzen ein milchiges Aussehen verleihen. Das fette Öl ist „emulgiert" und gleichzeitig durch die Wirkung der Ölsäure in Glyzerin und eine Fettsäure „gespalten" worden. (Kolkwitz.)

168. Vers. 1. Schüttle frisches Öl mit etwas Wasser und Alkohol und prüfe seine Reaktion mit blauem Lackmuspapier: es reagiert höchstens schwach sauer (färbt das Reagenspapier rötlich).

2. Zerquetsche eben keimende *Ricinus*-Samen und setze etwas davon zu frischem Öle hinzu. Nach einigen Stunden tritt deutlich saure Reaktion ein. (Prüfung mit Lakmus. — Nach Osterhout).

In diesem Falle tritt ebenfalls neben Glyzerin Fettsäure auf, die sich uns durch die saure Reaktion zu erkennen gibt. Nur war hier die Ölsäure durch ein im *Ricinus*-Samen vorhandenes Ferment, die Lipase, ersetzt, das in fettreichen Samen vorkommt. Die Fettsäure verbindet sich mit dem Alkali (Soda) zu einem „Seife" genannten Salze. Man nimmt an, daß in den Zellen sich diese Seife dadurch bildet, daß eine Substanz der Zellwand sich mit der Fettsäure zu einer Seife vereinigt, welche dann die Membran durchtränkt und dadurch den Fettdurchtritt ermöglicht, welcher durch die Auflösung des Fettes in feinste Tröpfchen (= Emulgierung) noch gefördert wird.

Wir haben zwar gesehen, daß das Protoplasma der Zelle aus dem fetten Öle auf leichte Weise Kohlehydrate zu bilden vermag, doch ist uns, vom chemischen Standpunkte aus, dieser Vorgang vorderhand noch ziemlich unbegreiflich.

Proteïnstoffe.

In manchen Samen ist auch Eiweiß gespeichert, und zwar in Gestalt von bestimmt geformten Inhaltskörpern der Zelle, welche das Aussehen rundlicher Körnchen besitzen und als Aleuronkörner (Kleberkörner) bezeichnet werden (zum Beispiel in den fettreichen Zellen der *Ricinus*-Samen oder in der äußeren Zellschichte — Kleberschichte — des Endosperms der sonst stärkehältigen Weizenkörner).

Auch die Eiweißkörper wandern nicht ohne weiteres in den Geweben. Manche müssen erst löslich gemacht werden, sind aber auch dann noch nicht in der Lage, osmotisch die Zellen zu passieren; sie befinden sich im sogenannten „kolloidalen" Zustande, wobei sie in osmotischer Beziehung sich ähnlich wie Leimlösungen verhalten.

Man erklärt sich diese Eigentümlichkeit aus der enormen Größe des Eiweißmoleküls, von der wir eine gewisse Vorstellung gewinnen, wenn wir uns eine ältere Formel für das Serumalbumin vor Auge halten: $C_{450}H_{720}N_{116}S_6O_{140}$; man kennt aber auch andere Eiweißstoffe mit einer noch größeren Anzahl von Atomen. Solche Moleküle sind in einem labilen Gleichgewichtszustande, das heißt, es spalten sich von ihnen unter verschiedenen Einwirkungen größere oder kleinere Atomgruppen leicht ab. In der Pflanzenzelle findet ein solcher „Abbau" des Eiweißmoleküls namentlich unter dem Einflusse von „proteolytischen", das heißt Eiweiß spaltenden Enzymen, den sogenannten Proteasen, statt.

169. Vers. Kaufe (in der Apotheke oder Drogenhandlung) Pankreatin. Dieses enthält das Enzym Trypsin. Löse es in 1%iger Sodalösung auf und gib etwas käufliches Fibrin (einen Eiweißkörper) hinzu, das vorher in Wasser eingequollen wurde. Zur Kontrolle setze Fibrin in gewöhnliches Wasser.

Nach einiger Zeit hat sich der Eiweißstoff durch die Einwirkung des Enzyms aufgelöst; nur in diesem Zustande kann er diosmieren und wandern.

Man kennt noch ein zweites Enzym von ähnlicher Wirkung, das Pepsin, das zum Beispiel aus den Drüsen der insektenverdauenden Pflanzen (S. 121) ausgeschieden werden dürfte und diesen Gewächsen durch Löslichmachen der stickstoffhältigen Verbindungen des Insektenfleisches von Nutzen ist.

Beide Enzyme spalten das Eiweiß in sogenannte Albumosen und Peptone, zwei Atomgruppen, die bereits die Zellwand passieren können; das Trypsin zerlegt diese noch weiter in „Amidosubstanzen", von denen aus dem Pflanzenreiche das „Asparagin" in sehr vielen Fällen bekannt geworden ist. Wir wollen versuchen, es darzustellen.

170. Vers. Kultiviere Samen von *Lupinus albus* in Sägespänen im Dunkeln durch etwa drei Wochen. Zerquetsche etwa 5 *dkg* der Hypokotyle, ohne Wasser zuzusetzen, wickle den Brei in ein reines Leinentuch und presse ihn mit der Hand aus. Den Saft erhitzt man auf dem Wasserbade, damit das Eiweiß sich ausscheidet (vgl. Vers. 34), und filtriert mehreremal.

Nun gießt man einige Kubikzentimeter dieses Saftes etwa zur fünffachen Alkoholmenge hinzu. Nach festem Durchschütteln und Stehenlassen scheidet sich ein weißer Bodensatz von Asparagin aus. (Nach Detmer.) (Über andere Enzyme — Invertase und Oxydase — vgl. S. 154, 157.)

In ganz ähnlicher Weise wie beim Austreiben von Reservestoffbehältern, nur im allgemeinen in umgekehrter Reihenfolge, haben wir uns die Stoffumwandlungen vorzustellen, welche bei der Speicherung von organischen Reservestoffen vor sich gehen,

die aus den zugeleiteten, also löslich gemachten Assimilationsprodukten ihren Ursprung nehmen.

Ableitung der Assimilate.

Es erwächst uns nunmehr die Aufgabe, die eben genannte Form der Stoffableitung zu untersuchen.

Die Assimilate, welche sich in den jungen Blättern bilden, werden zunächst zum Aufbau dieser Organe verbraucht; die ausgewachsenen Blätter aber produzieren mehr Assimilate als sie benötigen. Diese müssen darum auswandern, um so mehr, als eine Anhäufung derselben in den Zellen deren Assimilationstätigkeit herabsetzt.

Das Wanderziel der assimilierten Stoffe — wir haben hier zunächst nur die Kohlehydrate im Auge — sind die Orte der Neubildung anderer wachsender Organe und die Reservestoffbehälter.

Diese theoretisch zu erschließende Ableitung der Assimilate aus den Blättern läßt sich direkt beweisen.

171. Vers. 1. Man prüft Blätter von *Phaseolus, Tropaeolum* u. a. am Abend eines Tages, der gute Assimilationsbedingungen bot, auf Stärke (Vers. 117, 2): sie sind mit Stärke erfüllt.

2. Schneide am nächsten Morgen wiederum einige Blätter dieser Pflanzen bei Sonnenaufgang ab (bevor also die Assimilation einsetzt). War die Nacht warm, so enthalten die Blätter nur wenig oder gar keine Stärke.

In der Nacht ist also die Stärke verschwunden. Entweder ist sie in eine andere Form übergeführt, das heißt irgendwie verarbeitet worden, oder sie wurde aus dem Blatte abgeleitet. Wir werden den Zusammenhang zwischen Blatt und Stamm aufheben; wenn dann in den abgeschnittenen, vorher stärkeführenden Blättern noch immer Stärke als solche zu finden ist, so konnte sie eben offenbar nur nicht abgeleitet werden; die Unterbrechung der Verbindungswege zwischen Blatt und Stamm bewirkt, daß sie noch als Stärke im Blatte zurückbleibt. Wäre das Verschwinden der Stärke auch im abgeschnittenen Blatte erfolgt, dann könnte man annehmen, daß die Stärke in der Nacht nicht auswandert, sondern in eine andere Form verwandelt wird. Folgender entscheidender Versuch soll uns Aufschluß geben.

172. Vers. Um von der Tageszeit unabhängiger zu sein, benützen wir eingetopfte Pflanzen zum Beispiel der in Vers. 171 genannten Arten; wir überzeugen uns durch eine Probe, daß die Blätter stärkereich sind und stellen dann den Topf ins Dunkle; einige gleichzeitig abgeschnittene Blätter werden auf feuchtem Fließpapier, mit einem Sturze bedeckt, ebenfalls in einen absolut dunklen Raum gebracht. — Nach einem bis mehreren Tagen untersuchen wir neuerdings auf Stärke: die an der Pflanze befindlichen Blätter sind mehr oder weniger stärkefrei, während die abgetrennten noch ziemlich viel Stärke führen.

Es erfolgt somit in den Blättern tagsüber Assimilation, während in der Nacht Stärkelösung unter Mitwirkung von Diastase vor sich geht und die umgewandelten Assimilate aus den Blättern auswandern, um an ihre Bestimmungsorte geführt zu werden.

Es ist hier am Platze, nochmals auf die Frage des ersten Assimilationsprodukts der grünen Zelle zurückzukommen, als welches die Stärke bekanntlich nicht gelten kann (S. 82). Wenn dieses Problem auch noch nicht gelöst ist, so wollen wir doch eine der Anschauungen, die man sich über dasselbe gemacht hat, wiedergeben. Man hat nämlich die Annahme gemacht, daß aus der in die Zellen eingedrungenen Kohlensäure (S. 79) durch Austritt von Sauerstoff ein sogenanntes Aldehyd entstehe nach der Gleichung:

$$H_2 CO_3 = CH_2 O + O_2.$$

Es ist also so viel Sauerstoff abgegeben worden, als der im aufgenommenen CO_2-Moleküle enthaltenen Menge entspricht (S. 79). Aus dem obigen Aldehyd läßt sich aber leicht, unserer schon früher ausgesprochenen Vermutung (S. 79) entsprechend, eine Zuckerart von der Formel darstellen: $C_6 H_{12} O_6$. Tatsächlich haben wir ja auch Zucker als Vorläufer der Stärkebildung kennen gelernt.

Aus solchen Kohlehydraten müssen die anderen organischen Verbindungen durch Neugruppierung der Atome unter oft ganz anderen Zahlenverhältnissen direkt oder indirekt auf meist unbekannte Art und Weise entstanden sein, so zum Beispiel die organischen Säuren, Fette und namentlich auch die Eiweißkörper.

Über die Vorgänge bei der Bildung der letzteren wissen wir äußerst wenig (vgl. S. 113). Da wir bei der Eiweißspaltung stets gewisse Produkte immer wieder entstehen sehen, halten wir uns zur Vermutung berechtigt, daß umgekehrt aus solchen Stoffen auch wieder Eiweißkörper hervorgehen mögen. Nun treten beim Abbau des Eiweißmoleküls stickstoffhältige „Amide“ und stickstoffreie Atomgruppen auf, von welchen die ersteren sich im Dunkeln anhäufen, zum Beispiel das Asparagin (vgl. S. 131). Aus solchen N-führenden Amiden soll nun durch Hinzutreten geeigneter Kohlehydrate Eiweiß aufgebaut werden, ein Vorgang, der öfters in den Blättern und im Lichte vor sich gehen mag (vgl. S. 115). Im übrigen haben wir eine solche Eiweißsynthese aus Asparagin und Zucker auch schon tatsächlich kennen gelernt (Vers. 152, 2), auch haben wir schon darauf hingewiesen (S. 115), daß die Salpetersäure bei der Eiweißbildung als Stickstoff liefernder Bestandteil von Bedeutung ist.

Wandern nun die Blattassimilate, zum Beispiel Kohlehydrate und Proteïnsubstanzen aus den Blättern aus, etwa nach den Reservestoffbehältern, dann können die unter Mitwirkung von

Enzymen vor sich gehenden und uns schon bekannten Stoffwandlungen sich vollziehen, die wir beim Austreiben und Keimen vorgefunden haben, bis endlich am Bestimmungsorte das Eiweiß wiederhergestellt (regeneriert) wird.

Mechanismus der Stoffwanderung.

Es ist ein noch keineswegs gelöstes Problem, die organischen Stoffe während ihrer Wanderung durch den Pflanzenkörper auf ihren Wegen genau zu verfolgen und die Ursachen der Stoffbewegung in ihrem vollen Zusammenhange klarzulegen. Wir begnügen uns daher hier mit einzelnen Hinweisen und Möglichkeiten.

Wenn eine organische Verbindung innerhalb einer Zelle entsteht, z. B. die Stärke im Chloroplasten, so muß sie sich im Falle der Weiterleitung zunächst durch die Zelle selbst bewegen. Das einfachste Mittel hierzu scheint uns in der Diffusionsbewegung gegeben zu sein, welche bei der Mischung zweier Lösungen auftritt, wobei wir nach unseren bisherigen Erfahrungen eine eventuelle Überführung des betreffenden Stoffes in lösliche Form als tatsächlich vorhanden und als unumgängliche Voraussetzung für die Wanderung kennen gelernt haben.

173. Vers. Ein hoher Glaszylinder wird mit Wasser gefüllt und einige größere Kristalle von Kupfervitriol oder doppeltchromsaurem Kali hineingeworfen, welche sich nur langsam auflösen. Wenn das Glas nicht erschüttert wurde, so sind oft selbst nach Tagen die obersten Wasserschichten nur höchstens schwach gefärbt.

Zwar findet hier wirklich eine Stoffbeförderung statt und noch dazu entgegen der Schwerkraftwirkung nach aufwärts; es kann auch nicht bezweifelt werden, daß in den Zellen, namentlich im Zellsafte, die Möglichkeit für diese Form des Stoffaustausches vorhanden ist. Eine andere Frage aber ist es, ob der Transport der Moleküle dabei mit ausreichender Schnelligkeit vor sich geht. Und da zeigt schon der einfache Versuch, daß die Geschwindigkeit der Diffusion eine ungemein geringe ist. Sorgfältige Versuche haben gelehrt (nach Stefan), daß 1 *mg* Chlornatrium, eines der am raschesten diffundierenden Salze, etwa ein Jahr braucht, um einen Meter zu wandern, Rohrzucker zweieinhalb und Eiweiß sogar 14 Jahre.

Solche Zeiträume entsprechen dem tatsächlich oft rasch verlaufenden Stoffwechsel der Pflanze durchaus nicht unter allen Verhältnissen.

Man glaubt darum, daß die Zelle vielleicht in der „Protoplasmaströmung“ (siehe „Bewegung“) ein Mittel besitze, um eine schnellere Mischung und Bewegung der Substanzen herbeizuführen. Die subtilste anatomische Untersuchung läßt erkennen, daß das Protoplasma einer Zelle von ihrer Umgebung nicht völlig abgeschlossen ist, daß vielmehr feine protoplasmatische Verbindungsfäden durch feinste Poren der Zellmembran hindurch

und mit dem benachbarten Protoplasma in innigste Verbindung treten.

In welcher Art diese „Plasmaverbindungen“ zwischen benachbarten Zellen den Stoffwechsel beeinflussen oder gar fördern, wissen wir nicht.

Wie dem auch sein mag: das ist sichergestellt und auch uns bekannt, daß osmotischer Stoffdurchtritt durch die Zellmembran hindurch stattfindet. Daraus geht aber hervor, daß die Osmose gewiß als eine der uns bekannten Arten von Versorgung der Zellen mit gewissen Stoffen zu betrachten ist. Ja, wir haben hierin sogar die allgemeinste Form des gegenseitigen Stoffaustausches der Zellen zu erblicken, welche den Bedürfnissen der Pflanze also wohl Genüge leisten muß. Es ist auch gelungen, den Zweifel zu zerstreuen, ob die Stoffleitung durch Osmose nicht an Ausgiebigkeit einbüße, wenn die Stoffe gezwungen sind, nach kurzer Wanderung durch das Zellinnere immer wieder Plasmahäute und Membranen zu passieren, ehe sie in die nächste Zelle übertreten können.

Die mikroskopische Untersuchung der Pflanzen — die Pflanzenanatomie — hat unter allen Umständen die Zelle als das Grundelement befunden, aus dem alle Organe der Gewächse aufgebaut sind, und als charakteristisch für diese Formbestandteile unter anderem auch deren ungemeine Kleinheit erkannt, welche es nur in den allerseltensten Fällen ermöglicht, Zellen mit freiem Auge wahrzunehmen (z. B. auf Querschnitten durch den Stengel von *Impatiens glandulifera*).

Stellen wir uns zwei kugelförmige Zellen vor, so verhalten sich ihre Massen bekanntlich wie die dritten Potenzen ihrer Halbmesser, während ihre Oberflächen im Verhältnisse der Quadrate der Radien stehen. Wenn also eine Zelle einen zweimal so großen Halbmesser als eine andere besitzt, so ist die Masse der ersteren achtmal so groß als die der zweiten Zelle, ihre Oberfläche aber übertrifft die der kleineren Zellkugel nur um das Vierfache. Der Stoffwechsel ist nun aber, wie leicht einzusehen, der Oberflächengröße proportional; die achtmal größere Zelle hat zum Stoffaustausche nur eine viermal größere Oberfläche zur Verfügung als die kleinere Zelle, welch letztere demnach bezüglich der Schnelligkeit, mit der Stoffe sie durchwandern können, im Vorteile ist.

Die Wanderbahnen.

Die Bahnen der Stoffwanderung für die einzelnen organischen Stoffe festzustellen, ist ungemein schwierig und setzt stets genaue mikroskopische Untersuchungen voraus. Wir wollen uns darum mit einem allgemeineren Resultat begnügen und wie bei der Feststellung des Transpirationsstromes durch einen Ringelungsschnitt den Anteil der Rinde an der Leitung der Assimilate kennen lernen.

174. Vers. Ein etwa 20 *cm* langer und 1 *cm* dicker Zweig der Bruchweide wird im Frühjahre 4 *cm* vom unteren Ende in einer Breite von etwa 2 *cm* geringelt. (Vgl. Vers. 89 und Fig. 40.) Man hängt ihn jetzt an einem Faden an einen Nagel, der an der Unterseite eines Korkes befestigt ist. Der Kork mit dem frei herabhängenden Zweige dient zum Verschlusse eines hohen Glaszylinders (Präparatenzylinder), der am Boden mit Wasser nur so hoch bedeckt ist, daß der Zweig nicht eintaucht, während die Wände mit feuchtem Fließpapier ausgekleidet sind. (Nach Detmer.) Statt des Zylinderglases kann man auch einen höheren Lampenzylinder verwenden, der oben verkorkt und mit dem unteren Ende in Wasser eingestellt wird.

Fig. 40.

Nach mehreren Wochen haben sich oberhalb der Ringelungsstelle lange Wurzeln gebildet, unterhalb derselben keine oder nur ganz kurze.

Offenbar reichte die Menge der Baustoffe, welche im unteren Zweigstücke vorhanden war, zu kräftigerer Wurzelbildung nicht aus. Obwohl im Holz viel Stärke vorhanden ist, konnte diese allein der Neubildung nicht genügen, da auch stickstoffhältige Substanzen zur Zellbildung nötig sind; diese aber waren augenscheinlich nicht imstande, die Ringelungsstelle zu überschreiten. Wir haben also in diesem Falle die Rindengewebe als die Leitungsbahnen der stickstoffhältigen Baustoffe anzusprechen. Der anatomische Befund zeigt uns hier langgestreckte Elemente, die „Siebröhren“ (Fig. 19 und S. 56), als deren Inhalt man hauptsächlich einen wässerigen, dünnflüssigen Eiweißschleim aufgefunden hat. In diesen langen Röhren, die nur hin und wieder von durchlöcherten Querwänden unterbrochen sind, hat die Pflanze augenscheinlich ein Mittel gefunden, um fertige Eiweißstoffe rasch auf große Strecken weiterzuleiten, ohne daß es hierzu erst der Spaltungen und des Wiederaufbaues des Eiweißmoleküls bedürfte, welche wir bei der Wanderung der Proteïnstoffe durch die gewöhnlichen Zellen anzunehmen genötigt sind.

175. Vers. (Fig. 40.) Wiederhole den vorigen Versuch mit einem am Baume befindlichen vollbelaubten, dickeren Zweige, der in der Nähe der Abzweigungsstelle geringelt wird. Die Wunde ist mit Guttaperchapapier oder ähnlichem (vgl. Vers. 66) zu verschließen.

Wenn nach längerer Zeit kräftiger Assimilation die Wundränder vernarben (siehe „Kallus“), dann hat sich am oberen Rande der Ringelungsstelle ein stärkerer Wulst als unten gebildet.

Auch in diesem Falle erkennen wir, wie sich oberhalb der Wundstelle die Assimilate der Blätter, die sich ununterbrochen

neubilden, anhäufen und als Baustoffe verwertet werden. Die große Bedeutung der Rinde für die Versorgung des Stammes und der Wurzeln mit organischem Material wird auf diese Weise verständlich und wir erkennen in der Verletzung der Rinde durch Hagel und andere Ursachen einen Eingriff in das Leben des Baumes, der für diesen die schädlichsten Folgen, ja bei weitgehenden Verwundungen sogar den Tod des betreffenden Baumes herbeiführen kann. (Vgl. „Wundheilung“.)

Ziele der Stoffbewegung.

Welchen Zielen die Stoffwanderung zustrebt, ist leicht zu erkennen; wenn junge, in Entwicklung begriffene Organe oft zu $^9/_{10}$ ihrer Masse aus Wasser bestehen, so ist ohne weiteres klar, daß organische Substanzen während der ersten Entwicklungszustände solchen Pflanzenteilen von anderen Partien her geliefert werden müssen; dieselbe Erwägung gilt auch für alle anderen Orte, an denen Neubildungen von Zellen vor sich gehen.

Ebenso leicht verständlich ist der Zweck, den die Ableitung der Assimilate aus den grünen Organen nach den Speichergeweben erzielt.

Ursachen derselben

Im Gegensatze hierzu ist die Frage nach den treibenden Ursachen, welche die Stoffströmung im Gange halten, sehr verwickelter Natur. Fassen wir nur die osmotischen Vorgänge als Bewegungsursachen ins Auge, so erkennen wir leicht, daß Gleichgewicht in der Stoffverteilung gleichbedeutend mit Stillstand der ganzen Stoffleitung ist; ein solcher Stillstand kann entweder durch den gleichen Konzentrationsgrad der Lösungen eines Körpers in benachbarten Zellen herbeigeführt werden oder das Vorhandensein ungleich konzentrierter, aber isotonischer Lösungen (S. 24) zur Voraussetzung haben. Für die in steter Entwicklung begriffene Pflanze ist gerade das Gegenteil von Wichtigkeit; sie trachtet mit den verschiedensten Mitteln den Eintritt eines solchen osmotischen Gleichgewichtszustandes zu verhindern oder mit anderen Worten: sie sucht stets ein osmotisches Gefälle aufrecht zu halten, welches die Erhaltung einer Stoffströmung verbürgt.

Dies kann auf verschiedene Weise erreicht werden.

176. Vers. 1. Wenn man in eine fast konzentrierte Kupfervitriollösung einen Streifen Zinkblech eintaucht, so nimmt dieser aus der sich entfärbenden Lösung Kupfer auf.

2. Bringt man in eine verdünnte wässerige Lösung von Jodjodkalium Kartoffelstärke, so speichert diese Jod, wodurch die Flüssigkeit entfärbt und für neuerliche Aufnahme von Jod geeignet wird. (Nach Detmer.)

In ähnlicher Weise wird zum Beispiel Platz für nachströmenden Zucker geschaffen, wenn dieser in Stärke umgewandelt, das heißt in feste, nicht diosmierbare Form gebracht wird; denn dadurch ändern sich sofort die Konzentrationsverhältnisse inner-

halb der Zelle; indem sie jetzt eine weniger konzentrierte Zuckerlösung enthält, kann sie neuerdings als osmotisches Zentrum diesen Stoff anziehen. Dabei kommt den Zellen die Eigenschaft der Semipermeabilität (S. 27) außerordentlich zustatten, welche ein Hindernis für die Herstellung gleicher Konzentration innerhalb und außerhalb des Protoplasmas ist.

Aufgaben.

1. Warum müssen die Knollen von *Sauromatum* nach dem Verblühen in Erde übersetzt werden? (Vgl. Vers. 154, 3 und Seite 125.)

2. Weshalb schrumpfen die Kotyledonen keimender Bohnen und warum schwimmen sie schließlich auf Wasser? (Seite 124 und 125.)

3. Warum schmecken junge Getreidekörner süß, reife nicht mehr? (Vgl. S. 127 und 131.)

4. Bestimme die Volumsvergrößerung beim Quellen von Samen (d. h. ermittle das Volumen zuerst der trockenen, dann das der eingequollenen Samen). (Vgl. S. 65, Aufgabe 5.)

5. Untersuche, ob das Licht einen Einfluß auf die Schnelligkeit der Keimung hat. (Kontrollversuch im Dunkeln.)

6. In welcher Weise wird die Kallusbildung eines geringelten Weidenzweiges beeinflußt, wenn der Versuchszweig einmal voll, das anderemal nur spärlich belaubt ist? Suche eine Erklärung hierfür.

7. Warum wird die Wurzelbildung auch unterhalb der Ringelungsstelle gefördert, wenn der Ringelschnitt näher gegen die Zweigspitze zu liegt? (S. 136.)

8. Mache die Stärkeprobe an den ruhenden und den austreibenden fetthältigen Samen sowie an den Keimlingen des Rettichs. Welche Stoffumwandlung vollzieht sich also bei der Keimung dieser Pflanzen? (Vgl. Vers. 166.)

Atmung und Gärung.

Wir haben bis jetzt schon mehreremale Gelegenheit genommen, einige der unsichtbaren Wechselwirkungen zwischen den Gewächsen und der Atmosphäre zu untersuchen, welche man mit dem Ausdrucke „Gaswechsel“ belegt hat.

Unentbehrlichkeit der Luft für die Keimung.

Die einfachste Tatsache auf diesem Gebiete war dem schon genannten Malpighi, dem Begründer der wissenschaftlichen Pflanzenanatomie, bekannt. Er wußte aus seinen Beobachtungen, daß zur Samenkeimung Luft notwendig ist.

177. Vers. Man bringt Bohnensamen (*Phaseolus* oder andere) in ausgekochtes Wasser, das man in einem verschlossenen Gefäße hat wieder abkühlen lassen. Die obenauf schwimmenden Samen werden entfernt und das Gefäß luftdicht verschlossen (entweder durch einen Kork oder durch Aufgießen einer einige Millimeter hohen Ölschicht). Auf diese Weise finden die Samen weder im Wasser Luft vor, noch kann solche von außen zutreten.

Die Samen keimen nicht.

178. Vers. Man füllt etwa fünf gleich große Flaschen mit Wasser und wirft dann so viel trockenen Sand hinein, daß er die erste Flasche zu $^1/_6$, die zweite zu $^2/_6$ etc. und die letzte zu $^5/_6$ ihrer Höhe erfüllt, wodurch ein Teil des Wassers verdrängt wird und abfließt. Nach dem Absetzen des Sandes gießt man auch das übrige Wasser fort, so daß in den Gefäßen nur luftfreier, nasser Sand zurückbleibt. Nun setzt man überall eine gleiche Menge gequollener Samen oder gleich entwickelter Keimlinge (Bohnen u. a.) hinzu, verkorkt und versiegelt die Flaschen luftdicht (oder verstreicht die Korke mit Klebwachs). (Osterhout.)

Den einzelnen Samen- oder Keimlingsportionen stehen also verschiedene Luftmengen zur Verfügung. Diejenigen Samen, denen am meisten Luft geboten wird, entwickeln sich am längsten, die anderen stellen ihre Entwicklung bereits früher ein.

Daß der Luftmangel an diesem Stillstande schuld ist, geht unter anderem auch daraus hervor, daß unsere Versuchspflanzen in feuchtem Sande oder in ebensolchen Sägespänen, zwischen welche Luft eindringen kann, sehr gut weiter wachsen. Zur Entwicklung der genannten Pflanzen ist also Luft unbedingt notwendig.

CO_2-Ausscheidung seitens der Pflanze.

In welcher Weise die Luft derart die Pflanzen beeinflussen kann, ist mit dieser Feststellung natürlich noch lange nicht aufgeklärt und es war ein großer Schritt vorwärts, als man die Entdeckung machte, daß die Pflanze sich hierbei nicht passiv verhält, sondern ihrerseits wieder die umgebende Luft zu verändern vermag.

179. Vers. Ein hoher Glaszylinder von etwa 500 cm^3 Inhalt (oder ein beliebig anderes, aber weithalsiges Glas) wird durch eine feuchte Glasplatte oder mittelst eines Stöpsels verschlossen. Senkt man nach Öffnung des Gefäßes einen brennenden Kerzenstumpf in dasselbe ein, der an einem langen Drahte befestigt ist, so brennt das Licht weiter. Füllt man aber $^1/_3$ des Glases mit Bohnensamen an, welche über Nacht (etwa zwölf Stunden lang) in Wasser eingequollen waren, verschließt das Gefäß wiederum und führt nach sechs Stunden oder noch später die brennende Kerze ein, so wird diese erlöschen, wenn sie in die über den Samen befindliche Luftschicht eintaucht. Je länger das Glas verschlossen war, desto weniger tief braucht das Licht einzutauchen, um alsbald zu verlöschen. (Der Versuch läßt sich mehrmals wiederholen).

Keimende Samen machen also die sie umgebende Luft allmählich zum Brennen und, wie Tierversuche gezeigt haben, zum Atmen unbrauchbar.

Bei unserer genauen Kenntnis von der Zusammensetzung der Atmosphäre (vgl. Seite 12) können wir es versuchen, die Ursache dieser Veränderung der Luft aufzudecken, ohne dabei auf alle die Schwierigkeiten zu stoßen, welche schier unüberwindlich schienen zur Zeit, da man die Luft für einen einheitlichen Stoff hielt und den Sauerstoff noch nicht kannte. Wir gehen von folgender Erwägung aus: Die beobachtete Luftveränderung kann ihren Grund darin haben, daß der bekanntlich den Verbrennungs- und den Atmungsprozeß der Tiere ermöglichende Sauerstoff verschwunden ist, oder es könnte eine größere Menge eines nicht atembaren Gases von der Pflanze ausgeschieden worden sein, und endlich ist die Möglichkeit vorhanden, daß beide Prozesse gleichzeitig stattfinden. Daraus ergibt sich diese Versuchsanordnung: Man kultiviert eine Pflanze in einem Luftraume von genau bekannter Zusammensetzung. Analysiert man diese Luft nach einiger Zeit, so muß sich herausstellen, welche Gasart und -menge ausgeschieden, bezw. verbraucht wurde.

Wir wollen diesen schwierigen Versuch hier nicht ausführen, sondern begnügen uns mit einem einfacheren, der uns das eventuell ausgeschiedene Gas durch eine Reaktion erkennen lassen soll.

180. Vers. 1. Wir bringen in das Glasgefäß des Vers. 179 eben auskeimende Samen von Bohnen (Gartenmohn oder *Sinapis nigra*) auf ein Drahtnetz, welches, etwas größer als die Weite des Glases, in diesem sich festklemmt, nachdem wir darunter ein

Schälchen mit klarem Kalk- oder Barytwasser aufgestellt haben. Dieses erzeugen wir, indem wir etwa 20 *g* Kalk- oder Barythydrat mit einem Liter destillierten Wasser übergießen und unter wiederholtem Umschütteln in einer verschlossenen Flasche bis zur Klärung stehen lassen (vgl. Vers. 24, 2).

Nach mehreren Stunden oder nach einem Tage trübt sich die Flüssigkeit im Schälchen bei einigem Hin- und Herschwenken deutlich. — Dasselbe Ergebnis erzielt man, wenn man, statt keimende Samen zu verwenden, in dem leeren Glase vorher eine Kerze brennen ließ oder mit dem Munde auf die Flüssigkeitsoberfläche bläst oder die Schale längere Zeit in gewöhnlicher Luft stehen läßt. — In allen diesen Fällen ist es Kohlendioxydgas (CO_2) (vgl. Vers. 24, 2), welches in der Flüssigkeit einen Niederschlag von kohlensaurem Kalk oder Baryt erzeugt.

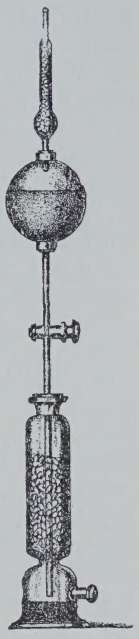


Fig. 41.

2. Sehr schön läßt sich die Entstehung von CO_2 auf folgende Art zeigen, deren sich die Verfasser zu Demonstrationszwecken bedienen (Fig. 41).

Ein Trockenturm ist mit einem durchbohrten Pfropf luftdicht verschließbar, durch dessen Öffnung ein langes, fast auf den Grund reichendes Glasrohr führt. Man steckt das unterste Ende desselben durch ein Stück Papier und setzt den Pfropf in den Hals des Gefäßes, so daß zwischen Kork und Hals noch Raum zum Einwerfen von über Nacht angequollenen Bohnensamen bleibt. Beim Auffallen der Samen auf das Papier verschließt dieses die Einschnürung, welche zwischen dem oberen und dem unteren Teile des Trockenturmes vorhanden ist, so daß die Samen nicht in diese untere Partie hineingelangen können. (Sollte dies doch hin und wieder vorkommen, so schadet es nichts; auch kann man sie mit einem spitzen Drahte aus der seitlichen Öffnung der unteren Gefäßerweiterung, welche während des Versuches aber luftdicht verschlossen bleiben muß, leicht entfernen.) Ist der obere zylindrische Raum etwa zu $^3/_4$ mit den Samen gefüllt, so setzt man nun den Pfropf fest in den Hals ein.

Die Samen produzieren nun CO_2, welche sich im unteren Teile des Gefäßes ansammelt. Zum Nachweise desselben bedienen wir uns der Nilblaubase. (Vgl. 24, 2.)

Nun gießt man bei verschlossenem Hahne in die Glaskugel die Nilblaubase ein und steckt in die obere Kugelöffnung ein mit Natronkalk gefülltes Röhrchen, durch welches nur CO_2-freie Luft durchstreichen kann. Läßt man nach 6 Stunden, eventuell noch später, Nilblaubase in den unteren Teil des Trockenturmes

abfließen, wobei der untere Pfropfen gelüftet wird, so färbt sie sich sofort blau, zum Beweise, daß hier CO_2 angesammelt ist.

Der Versuch kann mit derselben Samenmenge mehrmals ausgeführt werden, wenn man nicht zuviel Nilblaubase auf einmal abläßt.

181. Vers. Soll mit größeren Pflanzen experimentiert werden, so empfiehlt es sich (nach Mangin), die Versuchspflanze mit ihrem Topfe nebst einem daneben aufzustellenden Schälchen mit Barytwasser auf eine geschliffene Glasplatte zu setzen und darüber eine Glasglocke zu stülpen, deren abgeschliffener Rand vorher mit Vaselin eingefettet worden ist, um einen luftdichten Abschluß zu erzielen. Das Barytwasser trübt sich viel rascher, als wenn unter der Glocke nur der mit Erde gefüllte Blumentopf ohne Pflanze steht. (Wenn man mit grünen Pflanzenteilen arbeitet, muß die Glocke ganz verdunkelt werden, z. B. durch ein schwarzes Tuch [Erklärung siehe später].) Weitere Versuche unter „Aufgaben".

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß alle Pflanzen und Pflanzenteile, ebenso wie alle Tiere, Kohlendioxyd an die Luft abgeben, was schon Scheele (18. Jahrhundert), einem der Entdecker des Sauerstoffes, bekannt war.

Wo ist nun die Quelle dieser Kohlendioxydentbindung seitens der Pflanze zu suchen? Liebig konnte noch glauben, daß die Pflanze einfach das aus dem Boden aufgenommene CO_2 durch die oberirdischen Organe wieder von sich gebe, eine Anschauung, die sich nicht mehr aufrecht erhalten ließ, seit wir in der atmosphärischen Luft die Fundgrube für dieses der assimilierenden grünen Pflanze so unentbehrliche Gas kennen gelernt haben. Das ausgehauchte Kohlendioxyd kann aber auch nicht dasselbe wie das von den Blättern im Lichte aufgenommene Gas sein, da dieses ja bei der Assimilation unter passenden Umständen ganz aufgebraucht wird.

Sauerstoffaufnahme durch die Pflanze.

Es bleibt also nur die Annahme, daß das CO_2 in der Pflanze neu aus seinen Bestandteilen aufgebaut worden ist.

Die Bildung dieses Gases (und des später zu erwähnenden H_2O) erinnert an die Entstehung der gleichen Produkte bei der chemischen Verbrennung und es lag der Gedanke nahe, auch diesen pflanzlichen Gaswechsel als einen ähnlichen Oxydationsprozeß wie etwa das Verbrennen von Kohle und anderen Stoffen aufzufassen. Es handelt sich somit um den Nachweis, ob die Pflanze nicht vielleicht tatsächlich aus der Luft Sauerstoff aufnimmt. Kultivieren wir Pflanzen in einem abgeschlossenen Luftraume durch einige Zeit — so daß gleichzeitig der bei der Assimilation auftretende Gaswechsel ausgeschlossen ist (im Dunkeln) — und entfernen wir aus dem Gasraume das von der Pflanze ausgeschiedene CO_2, so muß das Luftvolumen unverändert bleiben, wenn der zur Bildung von CO_2 nötige Sauerstoff aus den Sub-

stanzen des Pflanzenleibes selbst stammt; es muß aber kleiner geworden sein, wenn aus der umgebenden Luft *O* von der Pflanze zum Zwecke der CO_2-Bildung herausgenommen wurde. Im Ätzkali oder in seiner wässerigen Lösung, der sogenannten Kalilauge (*KOH*), haben wir eine Substanz, welche begierig CO_2 aufnimmt (absorbiert) und im folgenden Versuche verwendet werden soll.

182. Vers. (Fig. 42.) Ein 400—500 cm^3 haltender Kochkolben wird mit einer Handvoll mehrtägiger Keimlinge (etwa Erbsen) beschickt, denen man, um sie länger feucht zu halten, ein nasses, zusammengedrehtes Filterpapierkügelchen hinzufügt. Dann schiebt man einen losen Papierpfropf nach, welcher nach dem Umdrehen der Flasche das Herausfallen der Samen verhindert. In den Flaschenhals schiebt man noch ein festes Stückchen Ätzkali (nicht direkt mit den Fingern anfassen!) und verschließt ihn nun mit einem gut passenden Pfropfen, durch dessen Bohrung ein etwa 10 *mm* weites, 40—50 *cm* langes Glasrohr gesteckt ist. Das Ganze hängt man mit der Mündung nach abwärts in den Ring eines Stativs und läßt die Glasröhre in ein mit gefärbtem Wasser (oder Quecksilber) gefülltes Gefäß eintauchen.

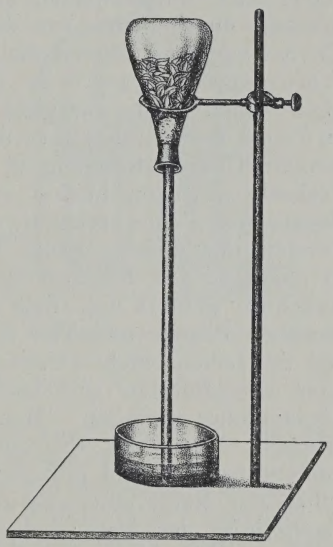


Fig. 42.

Nunmehr wird der Bauch der Flasche mit der Hand oder einem heißen Tuche erwärmt. Einfacher ist es, den Kolben noch vor dem Einhängen in den Ring über einer kleinen Lampe oder auf dem Ofen zu erwärmen, um etwas Luft daraus auszutreiben. Nach dem Abkühlen des Kolbens zieht sich die Luft in demselben zusammen und es steigt Wasser im Glasrohre empor. Durch einen angeklebten Papierstreifen wird dieser Stand, der bei einer gewissen Zimmertemperatur nach einiger Zeit erreicht wurde, markiert. Natürlich soll die Zimmerwärme möglichst gleich bleiben, was in einem Nordzimmer am ehesten der Fall sein wird. Wenn man nach längerem Zeitraume (12—24 Stunden) den Flüssigkeitsstand wieder abliest, muß man dies möglichst bei derselben Zimmertemperatur tun, die anfangs herrschte.

Ein zweiter ebenso vorbereiteter Apparat wird ohne Ätzkali aufgestellt.

Wir ersehen bei diesem Experiment, daß in dem Falle, wo kein *KOH* angewendet wird, das abgesperrte Luftvolumen nahezu oder ganz unverändert geblieben ist, wie der annähernd

unveränderte Stand der Flüssigkeit im Rohre erkennen läßt; wenn aber im abgeschlossenen Luftraume das entstandene CO_2 durch *KOH* absorbiert wurde, also als Gas verschwunden und von der Flüssigkeit aufgenommen worden ist, daß die Sperrflüssigkeit im Rohre um das Volumen des absorbierten CO_2 gestiegen ist. Daß Raum hierfür vorhanden war, läßt schließen, daß Sauerstoffgas aus dem Gasgemische verschwunden, das heißt von der Pflanze aufgenommen worden ist. (Das zurückgebliebene Gas bewirkt das Verlöschen eines brennend eingeführten Streichholzes oder einer Kerze; da *KOH* fast alles Kohlendioxyd absorbiert hat, kann dieses übrigbleibende Gas im wesentlichen nur Stickstoff sein.)

Die Atmung der Pflanzen und der Tiere.

Aus diesen und ähnlichen Versuchen folgt: Alle Pflanzen und alle ihre Organe nehmen aus der Luft Sauerstoff auf, unterscheiden sich also in dieser Form des Gaswechsels durch nichts von den Tieren. Wir bezeichnen sie als „Atmung“ und können den Satz aussprechen: Die Pflanzen atmen genau so wie die Tiere, manche Pilze atmen sogar noch viel energischer: sie nehmen Sauerstoff auf und geben Kohlendioxyd ab. Damit ist eine fundamentale Übereinstimmung in der eben genannten Art des Stoffwechsels zwischen beiden sonst so verschieden erscheinenden Organismenreichen erkannt, eine Übereinstimmung, welche im Vereine mit anderen (zum Beispiel dem gemeinsamen Aufbau aus Zellen, der Reizbarkeit des Protoplasmas u. a. m.) zur Annahme geführt hat, daß die anscheinend so scharfe Grenze zwischen Pflanze und Tier in den Grundeigenschaften des Baues und des Lebens nicht existiert, ja daß beide Reiche auf gemeinsame Grundformen zurückzuführen sind, von welchen sie ihre Abstammung herleiten. Man kann nicht mehr die drei Hauptgruppen: Mineralien, Pflanzen und Tiere als gegeben betrachten, sondern hat den viel präziseren Gegensatz zu machen zwischen unbelebter Natur einerseits und belebter Natur anderseits. Diese Zweiteilung der Natur scheint durch unüberbrückbare Gegensätze gerechtfertigt zu sein. Denn wenn man auch die Annahme macht, daß die lebende Substanz von keinen anderen Kräften beherrscht wird als die leblose Materie, so kennt man doch keine Übergänge zwischen dieser und auch nur der einfachsten Zelle; Nahrungsaufnahme, Stoffwechsel (Atmung), Wachstum und Fortpflanzung haben im Reiche des Unbelebten keine direkte Analogie aufzuweisen (vgl. Kap. Wachstum).

Wir hatten gesehen (Vers. 182), daß das die Pflanze umgebende Luftvolumen keine nennenswerte Veränderung aufwies, solange wir das ausgeschiedene CO_2 nicht durch *KOH* entfernten. Das heißt mit anderen Worten: Die Pflanzen schieden etwa ebensoviele Kubikzentimeter Kohlendioxyd aus, als sie Sauerstoff aufnahmen. Wir wiederholen den vorigen Versuch.

183. Vers. Wir benützen jetzt das einemal Erbsen- oder Weizensamen, das zweitemal eine gleiche Gewichtsmenge Hanf-, Ricinus-, Raps- oder auch Rübensamen. Das Steigrohr kann des bequemeren Vergleiches wegen auch kalibriert (zum Beispiel in Kubikzentimeter eingeteilt) sein. — Wenn wir nach etwa 24 Stunden möglichst bei der gleichen Temparatur ablesen, werden wir finden, daß bei Gegenwart von *KOH* und Benützung der Hanfsamen die Flüssigkeit viel höher emporgestiegen ist als bei Anwendung von Erbsensamen.

Fettreiche Samen (wie der Hanf) nehmen mehr Sauerstoff auf, als das Volumen der von ihnen produzierten CO_2-Menge beträgt, und stehen dadurch in einem Gegensatze zu den stärkemehlführenden Samen. Sie verbrauchen eben nicht allen Sauerstoff zum Atmen, sondern einen Teil auch dazu, die Fette zu oxydieren, wodurch diese sich erst in Kohlehydrate verwandeln, worauf dann die Atmung nach Art der stärkereichen Samen erfolgt.

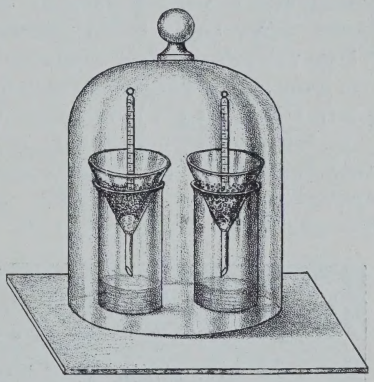


Fig. 43.

Wärmeerzeugung bei der Atmung.

Der Vergleich des Atmungsprozesses mit den Verbrennungserscheinungen machte es nicht unwahrscheinlich, daß es in beiden Fällen auch zur Bildung von Wasser (H_2O) kommen müsse. In der Tat haben genaueste Untersuchungen diese Vermutung bestätigt, so daß wir also die Ähnlichkeit mit der tierischen Atmung auch hierin erkennen, da auch bei letzterer derselbe Vorgang zu beobachten ist.

Es lag ferner nahe, auch bei den atmenden Pflanzen wie bei jedem Oxydationsprozeß nach Wärmebildung Umschau zu halten. Natürlich dürfen die Versuchspflanzen hierbei weder direkter Erwärmung etwa durch Sonnenstrahlen, noch einer starken Abkühlung durch kräftige Transpiration ausgesetzt sein.

184. Vers. 1. (Fig. 43.) Man füllt einen Trichter von etwa 200 cm^3 Inhalt mit angekeimten Samen (zum Beispiel $^1/_4$ *kg* Gerstenkörnern); damit die Samen nicht durchfallen, setzt man zuvor einen kleinen Papierfilter ein. Den Trichter setzt man auf ein Glas, auf dessen Rand er aufliegt und das mit starker Kalilauge etwa 1—2 *cm* hoch gefüllt ist.

In einen zweiten, ganz gleich vorbereiteten Apparat bringt man statt der sich entwickelnden Samen angefeuchtete Filterpapierkügelchen oder durch heißes Wasser abgetötete und wieder abgekühlte Samen derselben Art, um ähnliche Bedingungen wie im vorigen Trichter herzustellen.

Beide Gläser werden auf eine Glasplatte gestellt und mit einem Sturze zugedeckt, eventuell noch mit einem Tuche umwickelt, um Wärmeverluste möglichst zu vermeiden. Vor der Ablesung der Thermometer, denen man dabei nicht zu nahe kommen darf, soll die ganze Vorrichtung durch mindestens halbstündiges Stehen im Versuchsraume dessen Temperatur angenommen haben. Die Thermometer müssen beide möglichst gleich zeigen und sollen wenigstens in halbe Grade geteilt sein.

2. In einem Topfe werden etwa 50 Weizenkörner dicht angebaut. Wenn die Blätter etwa spannenlang sind, werden sie durch eine von außen umgelegte Schnur zu einem Bündel zusammengebunden, in dessen Mitte ein Thermometer steckt. Ein zweites gleichzeigendes Thermometer wird außerhalb der Pflanzen aufgehängt und das Ganze unter einen Sturz gestellt, der in Wasser eintaucht, um Wärmeverluste durch Transpiration möglichst zu vermeiden. Außerdem kann man in beiden Versuchen die Stürze mit schlechten Wärmeleitern (Tüchern etc.) einhüllen. (Nach Wiesners Vorlesungen.)

Nach einigen Stunden ist die Temperatur innerhalb der atmenden Samen und Blätter etwas höher gegenüber der Außentemperatur, aber selten um mehrere ganze Grade. Höhere Wärmegrade produzieren z. B. die Blütenstände von Araceen, die $10-20^0$ wärmer als ihre Umgebung werden können, oder Blätter unter den Bedingungen des folgenden Versuches:

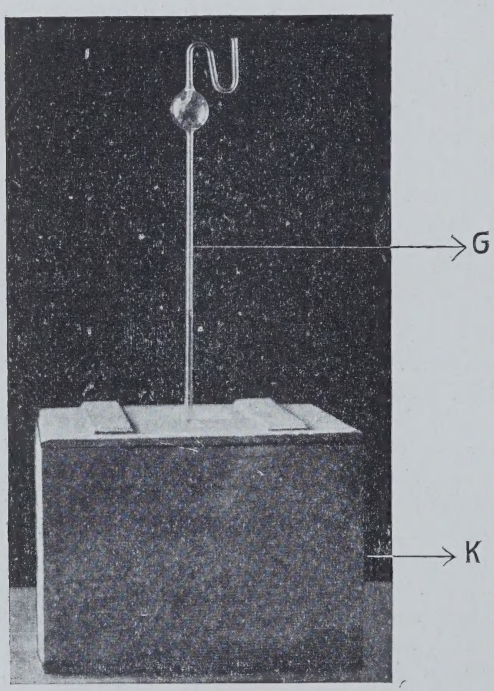


Fig. 44.

3. Ein 90 *cm* langes, nur unten geschlossenes Glasrohr (*G*) von der abgebildeten Form (Fig. 44) wird zu $^1/_3$ mit durch Alkannin gefärbtem Äther gefüllt und ragt durch ein Loch im Deckel in das Innere einer Kiste (*K*), in der sich ein dicht mit frischen, aber nicht benetzten Robinienblättern gefülltes, von Holzwolle umgebenes Körbchen befindet. Beim Eintauchen des unteren Rohrendes

in die Blättermasse beginnt der Äther bald zu sieden. (Molisch.)

Atmende Pflanzenteile produzieren also Wärme. Da diese Wärmebildung unter normalen Umständen bei Sauerstoffmangel unterbleibt, so hängt sie offenbar mit Oxydationsprozessen innerhalb der Pflanze zusammen: sie ist eine Folge der Atmung.

Die Temperatur des Pflanzenkörpers.

Wie gesagt, ist die Temperatursteigerung meist nur ganz geringfügig und auf keinen Fall ist die Pflanze imstande, durch diese Selbsterwärmung eine konstante Temperatur ihres Körpers wie die warmblütigen Tiere zu erzielen. Der Wärmezustand schwankt und kann bald höher, bald niedriger als die Lufttemperatur sein. Im Allgemeinen ist der jeweilige Temperaturzustand einer Pflanze stets das Resultat aller Wärme verbrauchenden und aller Wärme erzeugenden Prozesse.

Ein die Wärme der Pflanze herabsetzender Umstand ist zum Beispiel die nächtliche Ausstrahlung, die namentlich an den vorspringenden Teilen der Pflanzenblätter, wie Rand und Nerven, in kühlen Nächten zur Tau-, beziehungsweise Reifbildung führt (vgl. hiermit die Erscheinung der Guttation S. 60) und der die Pflanze wie jeder andere Körper ausgesetzt ist. Man hat die Faltungen und Rollungen junger Blätter sowie deren Steilstellung, auch die eigentümliche Nachtstellung mancher Blätter (Näheres im Kapitel „Bewegung") als Schutzmittel gegen die nächtliche Wärmeausstrahlung aufgefaßt.

Im Sinne einer Temperaturerniedrigung ist die bei der Transpiration auftretende Verdunstungskälte wirksam, eine Erscheinung, welche durch die bekannte Tatsache veranschaulicht wird, daß die Lufttemperatur über steinigem oder sandbedecktem Boden höher als in Waldgebieten ist. Da die erzeugte Atmungswärme an sich gering ist und die Transpirationsgröße selbst beständig schwankt, so ist auch die Körpertemperatur im Innern der Pflanze sehr veränderlich. Über den Gang dieser Temperatur, gleichgültig, welches die Ursachen desselben sein mögen, soll uns folgender Versuch belehren.

185. Vers. In eine am Baume befindliche Birnen- oder Apfelfrucht wird ein enges, zylindrisches Loch gebohrt, in welches das Quecksilbergefäß eines Thermometers (am besten eines mit zylindrischem Quecksilberbehälter) eingeführt wird. Die Fugen zwischen Instrument und Frucht werden etwa mit Baumwachs ausgefüllt, um das Eindringen der Luft von außen zu verhüten. Wir lesen täglich mehreremale die Temperatur und gleichzeitig auch an einem genau gleich geeichten Thermometer die äußere Lufttemperatur ab. Bei genaueren Untersuchungen ist auch die Luftfeuchtigkeit zu bestimmen, die Sonnenstrahlung zu messen u. a. m.

Als die Folge einer hohen Eigenwärme der Pflanze hat man die interessante, im Winter leicht zu beobachtende Erscheinung, daß viele Gewächse die sie einhüllende Schneedecke durchschmelzen können, erklären wollen. Es hat sich aber nach neuesten Beobachtungen (Kihlmann) herausgestellt, daß dieses Phänomen so zustande kommt, daß der Schnee für die auffallenden Wärmestrahlen zum Teil durchlässig ist und daß diese, auf eine Pflanze oder einen Stein auftreffend, von solchen Gegenständen absorbiert werden. Infolge dieser Absorption erwärmen sie sich so stark, daß der über ihnen befindliche Schnee allmählich abschmilzt.

Atmung und Assimilation.

Der Atmungsprozeß ist also nach unseren Erfahrungen ein Oxydationsvorgang, bei dem von der Pflanze CO_2 an die Luft abgegeben wird, während bei der Assimilation des Kohlendioxyds O ausgeschieden wird. Läßt man eine grüne Pflanze im Lichte stehen, so assimiliert sie und atmet zugleich, das heißt sie nimmt CO_2 aus der Luft auf, um es zu spalten und das C an andere Stoffe zu binden, während gleichlaufend damit gewisse bereits gebildete Substanzen wieder ihren Kohlenstoff abspalten, oxydieren und als CO_2 an die Atmosphäre zurückgeben. Sinkt die Lichtstärke und damit die Assimilationstätigkeit, so überwiegt allmählich die Atmung und es kann dieselbe Pflanze schließlich mehr CO_2 abgeben als O, während es in kräftigem Lichte umgekehrt ist und im Dunkeln überhaupt kein O mehr ausgeschieden wird. Ein und dieselbe Pflanze kann also je nach den äußeren Umständen, wie man sich früher ausdrückte, bald die Luft „verbessern", bald „verschlechtern". Es ist begreiflich, daß man ehemals, da man von der Existenz des Sauerstoffes und der Zusammensetzung der Luft noch keine Ahnung hatte, die widersprechendsten Versuchsresultate erhielt und vor einem unlöslichen Rätsel stand, bis es dem Scharfsinne des schon genannten Arztes und Naturforschers Ingen-Housz gelang, beide Lebensvorgänge streng voneinander zu trennen; diese Erkenntnis kam aber später wieder in Vergessenheit und wurde erst dann eine allgemeine, als der Pflanzenphysiologe Sachs für die „Tag- und Nachtatmung" die Ausdrücke „Assimilation" (vgl. das Kapitel „Assimilation") und „Atmung" schuf.

Die Bildung des von der Pflanze ausgeatmeten Kohlendioxyds unter Sauerstoffaufnahme muß nach allem, was wir bis jetzt erfahren haben, offenbar so stattfinden, daß dabei eine C-hältige Substanz des Pflanzenleibes zerlegt wird und ihren Kohlenstoff abspaltet, der sodann, an Sauerstoff gebunden, auf den Wegen der Gasbahnen (Interzellularen, Spaltöffnungen, resp. Zellwand) die Pflanze verläßt. Wir müssen also jetzt unser Augenmerk auf die kohlenstoffhältigen Substanzen der Zelle richten und uns zu überzeugen suchen, ob wir ein Verschwinden solcher Stoffe feststellen können, was sich bei höheren Pflanzen

allerdings nicht leicht verfolgen läßt. Es sei daher hier nur erwähnt, daß das tatsächliche Verschwinden von Kohlehydraten (Stärke und Zucker) bei der Atmung unsere oben skizzierte Anschauung vollauf bestätigt hat; hingegen werden stickstoffhältige Substanzen nicht veratmet. Auf alle Fälle ist zu erwarten, daß, unter entsprechenden Vorsichtsmaßregeln, infolge Veratmung von *C*-hältigem Pflanzenmaterial ein Gewichtsverlust der Pflanzen auftreten wird.

Wir wiederholen Vers. 107. Die damals beobachtete Abnahme des Trockengewichtes bei den Pflanzen, welche durch Verdunklung an der Assimilation und daher auch an der Gewichtszunahme verhindert waren, können wir uns jetzt erklären. Es ist eben ein großer Teil der Substanzen „veratmet", das heißt in Form von CO_2 an die Atmosphäre abgegeben worden.

Im Gegensatze zu den bisher besprochenen Erscheinungen der Stoffaufnahme (und damit verbundenen Massen- und Gewichtsvermehrung) haben wir es bei der Atmung mit einer Abgabe von Substanz aus dem Pflanzenkörper zu tun, wodurch Gewichtsabnahme herbeigeführt wird. Wie Vers. 107 lehrt, steht mit dem Aufhören der Assimilation nicht auch zugleich das Wachstum still; es kann aber nur so lange dauern, als der in den Pflanzen vorhandene Vorrat an Baumaterial ausreicht. Ununterbrochen aber ist die Atmung am Werke, um die *C*-hältigen Moleküle der organischen Substanz zu spalten. Wir werden erst später in der Lage sein, einen näheren Einblick in die „Bedeutung der Atmung" (siehe weiter unten) zu gewinnen.

Unentbehrlichkeit des Sauerstoffes.

Die Tatsache allein, daß die Pflanzen Sauerstoff aufnehmen, würde nun an sich allerdings nicht beweisen, daß dieses Gas — es ist der einzige Stoff, den die Pflanze als Element aufnimmt — auch für das Gedeihen unbedingt nötig ist. Es könnte dasselbe möglicherweise ganz gut auch entbehrt werden, sowie bekanntlich Verbindungen z. B. von Mangan, Natrium oder Silizium zwar von den Wurzeln aufgenommen werden, ohne daß jedoch ihre Abwesenheit im Erdboden die Pflanze schädigen würde. Sicherheit über die Rolle des *O* läßt sich auch hier nur, so wie dort, durch Kultur bei Ausschluß von Sauerstoff gewinnen, ein Experiment, das wir in roher Form schon in Vers. 177 ausgeführt haben.

186. Vers. 1. In eine kleine Retorte (oder Flasche) füllt man einige Samen, zum Beispiel von Bohnen oder Weizen, und gießt das Ganze mit Wasser voll, das man vorher abgekocht und in einem verschlossenen Gefäße wieder abgekühlt hat (am besten geschieht beides in einem Kochkolben). Durch vorsichtiges Umdrehen der mit dem Daumen (oder einem Stück steifen Papiers) verschlossenen Retorte bleiben die Samen in der bauchförmigen Erweiterung liegen, während man die verschlossene Mündung unter Quecksilber (oder Wasser) bringt und erst dann den Ver-

schluß öffnet. Durch eine Klemme wird die Retorte in dieser Stellung festgehalten. Ein zweites, genau ebenso vorbereitetes und aufgestelltes Gefäß wird daneben postiert. Nach 24stündigem Quellen der Samen bläst man mittels Aspirators durch ein gebogenes Glasrohr, dessen kurzer Schenkel durch das Quecksilber in die Retortenmündung geschoben wird, nun langsam Luft (man kann natürlich auch reines Sauerstoffgas einleiten) ein, welche das Wasser verdrängt bis auf ein kleines Quantum, welches man im Gefäße beläßt, um eine feuchte Atmosphäre herzustellen. — Die zweite Retorte wird nicht mit Luft, sondern mit Wasserstoffgas ebenso gefüllt.

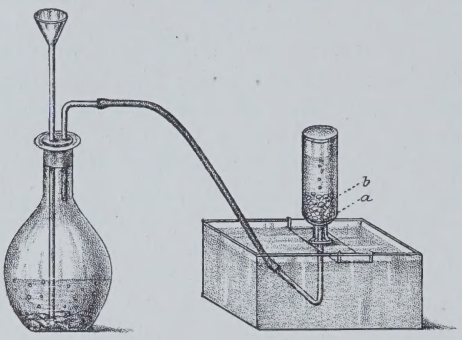


Fig. 45. — *a* Drahtnetz, *b* Samen.

Dieses Gas stellen wir in einer Gasentwicklungsflasche (Fig. 45) her, durch deren gut schließenden Kork zwei Bohrungen gehen. Durch eine derselben führt ein langes Trichterrohr fast auf den Boden der Flasche, durch die zweite Öffnung ist ein an der unteren Korkfläche beginnendes, rechtwinklig gebogenes Glasrohr durchgesteckt, welches durch einen Kautschukschlauch mit einem winklig gebogenen Glasrohre verbunden ist. Letzteres wird in die Mündung des das Gas auffangenden Gefäßes (z. B. Retorte) geleitet. Dieses ist anfangs ganz mit Wasser gefüllt und wird, wie oben beschrieben, mit der Mündung unter Wasser verkehrt aufgestellt, wobei es bequemerweise auf einer in der Mitte durchbohrten Blech-„Brücke“ aufsteht. Als Sperrflüssigkeit dient am einfachsten Wasser, womit die „pneumatische Wanne“ bis über das Niveau der Brücke angefüllt wird.

Das Gas erzeugt man dadurch, daß man gekörntes Zink, das sich auf dem Boden der Gasentwicklungsflasche befindet, durch das Trichterrohr nach und nach mit Schwefel- oder Salzsäure übergießt; hört die Gasentwicklung auf, so gießt man eine neue Portion Säure zu. Man darf das Gas erst nach einiger Zeit auffangen, da es anfangs mit Luft gemischt ist. Man füllt zur Probe zuerst eine Eprouvette in bekannter Weise mit dem Gase; erst wenn dasselbe, einer Flamme genähert, sich nicht mehr mit pfeifendem Knalle entzündet, ist es luftfrei.

Die Samen, welchen die sauerstoffhältige Luft zur Verfügung steht, keimen, die in der *O*-freien Atmosphäre befindlichen aber nicht.

Vielleicht ist aber nicht der *O*-Mangel, sondern die Gegenwart des *H* an dem Unterbleiben schuld gewesen, indem es möglicherweise an sich schon auf die Pflanze schädlich einwirkt.

2. Wir leiten daher nach etwa zwei Tagen in das *H*-hältige Gefäß wieder Luft (oder reinen Sauerstoff) ein, welche den Wasserstoff verdrängt: die Samen beginnen jetzt auch in diesem Gefäße zu keimen; es war also für den Stillstand in der Entwicklung nicht die Schädlichkeit des Wasserstoffes verantwortlich, sondern tatsächlich nur das Fehlen des Sauerstoffes.

187. Vers. 1. Ein weiter Glaszylinder wird zu etwa einem Drittel der Höhe mit einer wässerigen Lösung von Pyrogallol gefüllt und mit einem Korke verschlossen, von dessen Unterseite ein Schwämmchen bis in die Mitte des leeren Gefäßraumes herabhängt. In den Poren des Schwammes befinden sich gequollene Kressesamen. Der Kork wird zum Beispiel mit Siegellack oder mit geschmolzenem Paraffin luftdicht überzogen, so daß kein Sauerstoff zuströmen kann; der im Gefäße befindliche Sauerstoff wird von der obigen Lösung absorbiert. Ein zweiter, sonst ebenso vorbereiteter Zylinder wird statt mit Pyrogallol mit Wasser bis zur gleichen Höhe gefüllt. (Nach Giesenhagen.)

2. Statt der Kressesamen kann man auch in beiden Gefäßen gleich hohe Keimlinge benützen, deren Längen man eventuell im Beginne und nach etwa 24—48 Stunden mißt. Am einfachsten werden größere Keimlinge am Korke mit Nadeln angespießt, welche durch die Keimblätter gesteckt werden. Im sauerstoffreien Gefäße sind Zuwächse kaum oder nicht festzustellen gegenüber den Pflanzen im zweiten Gefäße. (Vgl. Fig. 50.)

Zum Keimen und Wachsen ist also Sauerstoff nötig. (Vgl. Kapitel „Wachstum".)

188. Vers. Verwende im Vers. 186 statt der Samen einige wenige Keimlinge von Weizen oder Senf, welche in vollständiger Finsternis gekeimt und die Samenschalen abgeworfen haben, also noch chlorophyllos sind, und stelle beide Gefäße an einen hellen Ort (nicht in direktes Sonnenlicht).

Nur bei Gegenwart von *O* findet Ergrünen statt.

Bei Sauerstoffmangel erlischt ferner auch das aktive Bewegungsvermögen der Pflanzen.

Sauerstoff ist also zu diesen und anderen Lebensäußerungen der Pflanze unbedingt erforderlich: „Ohne Sauerstoff kein Leben" ist ein für höhere Pflanzen in weitestem Umfange zutreffender Satz. (Vgl. hiermit das Verhalten der „Anaëroben" weiter unten.)

189. Vers. Wir töten Samen durch Kochen in siedendem Wasser und wiederholen mit diesem Material den Vers. 180.

Es tritt keine CO_2-Bildung ein, wenn wir Sorge tragen, daß der Versuch vor Eintritt von Fäulnis oder Gärung beendet wird.

Die Abgabe des Kohlendioxyds an die Luft als

Folge der Atmung beruht also auf Stoffwechselvorgängen der lebenden Pflanze, des lebenden Protoplasmas, ist demnach eine allgemein auftretende Lebenserscheinung, nicht ein einfacher chemischer Vorgang. Nicht die Menge der vorhandenen Luft und Pflanzensubstanzen (die im Vers. 189 ja ebenso groß genommen werden kann wie im Vers. 180) ist für diesen Prozeß ausschlaggebend, sondern die Lebenstätigkeit der Zelle. (Vgl. weiter unten „intramolekulare“ Atmung.)

Verhält sich die Sache in der angedeuteten Weise, so steht zu vermuten, daß sich die Stärke der Atmung ändern muß, wenn die Lebenstätigkeit des Protoplasmas durch irgendwelche Mittel erhöht oder geschwächt wird.

190. Vers. 1. Bestimme die Atmung gleicher Quantitäten von Samen derselben Art zum Beispiel nach der Anleitung des Vers. 182 im Dunkeln bei hoher und bei niedriger Temperatur (etwa in der Nähe des Ofens und in einem mit einem Eisbeutel bedeckten Kolben oder im Keller) nach gleichen Zeiträumen.

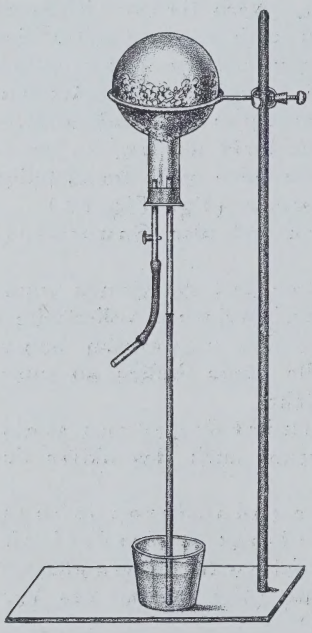


Fig. 46.

2. Ermittle ebenso den Unterschied in der Atmung gleicher Mengen Samen derselben Pflanzenart, von welchen die einen lufttrocken bleiben, während die anderen eingequollen werden.

3. Verfahre in genau gleicher Weise mit normalen, eingequollenen Samen und ebensolchen Samen, welche aber vorher einige Stunden in einem Gefäße luftdicht eingeschlossen waren, das einige Tropfen Äther enthielt.

In allen den genannten und in ähnlichen Fällen stellt sich heraus, daß die Atmung mit der Intensität der Lebensäußerungen in dem Sinne zusammenhängt, daß die Atmung durch diejenigen Umstände im allgemeinen erhöht wird, welche die Lebenstätigkeit der Pflanze steigern; darum atmen zum Beispiel auch die lufttrockenen Samen, welche in einem Zustande latenten Lebens sind, in weit geringerem Ausmaße als gequollene, durch Wasserzufuhr zu regerem Leben erweckte Samen. (Vgl. unter „latentes Leben“.)

Atmung ohne Sauerstoff.

Wie erinnerlich, hat uns Versuch 186, 2 gezeigt, daß die in *H* eingeschlossenen Samen, nach zwei Tagen wieder in Luft

gebracht, noch entwicklungsfähig, das heißt am Leben geblieben waren. Zeigten sie in der Zwischenzeit keinen Gaswechsel?

191. Vers. 1. (Fig. 46.) Eine etwa 150 cm^3 fassende weithalsige Flasche wird mit Keimlingen der Saubohne (*Vicia Faba*) oder sich entwickelnden Blüten fast ganz gefüllt und der Hals durch einen mit zwei Bohrungen versehenen Pfropfen verschlossen, welcher zwei Glasröhren enthält. Die eine ist mit einem Glashahne und aufgestecktem kurzen Kautschukschlauche versehen (in Ermanglung desselben steckt man an das Rohr einen kurzen Kautschukschlauch mit gut schließendem Quetschhahne); das zweite, etwa 40 *cm* lange Rohr taucht mit der Mündung unter Quecksilber, über dem zirka 1—2 *cm* hoch Wasser aufgeschichtet ist. Nun führt man den Schlauch in den Mund und saugt nach Öffnen des Hahnes (vorsichtig!) Luft aus dem Gefäße, wodurch die Sperrflüssigkeit emporsteigt. Eventuell schließt man den Hahn wieder und beginnt neuerdings zu saugen, wenn das Wasser noch nicht hoch genug (etwa 10 *cm*) emporgesaugt ist.

Anfangs atmen die Keimlinge normal, die Wassersäule behält ihren Stand bei (vgl. Vers. 182); nach dem baldigen Verbrauche des verfügbaren freien *O* beginnt die Flüssigkeitssäule im Rohre zu sinken: es wird offenbar ein Überschuß an Gas ausgeschieden, das sich als CO_2 zu erkennen gibt.

Nachdem das Quecksilber im Steigrohre gesunken ist, bringt man unter die Mündung desselben ein kleines Stück Ätzkali, welches von selbst bis zur Wasserschicht emporsteigt und sich hier auflöst. Diese starke Lösung von *KOH* absorbiert das ausgeschiedene CO_2, worauf das Quecksilber wieder emporsteigt.

2. Viel einfacher ist folgender Vorgang (nach Darwin): Man quillt etwa sechs Erbsen in Wasser ein, um nach zwölf Stunden die Samenschalen zu entfernen. (Dies ist notwendig, um mit denselben nicht Luft in den Apparat einzuführen.) Sodann füllt man eine Proberöhre voll mit Quecksilber und stellt sie verkehrt über Quecksilber auf (der die Öffnung verschließende Finger wird erst unter Quecksilber entfernt). Hierauf bringt man eine Erbse nach der anderen unter die Mündung, so daß sie von selbst in der Röhre bis zum oberen Ende aufsteigen (Fig. 47).

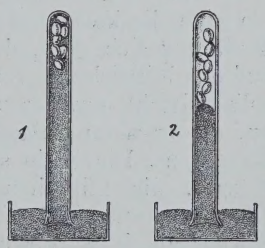


Fig. 47.

Am nächsten Tage wird die Hälfte der Röhre mit einem Gase erfüllt sein. Man führt nun mit einer gebogenen Glasröhre wie im vorigen Versuche etwas Wasser, sodann ein Stückchen festes Ätzkali in die Eprouvette ein: das Quecksilber beginnt zu steigen, da die entstandene Lösung von *KOH* das Gas, welches sich dadurch als CO_2 zu erkennen gibt, absorbiert.

Unsere Versuchspflanzen fahren also auch im sauerstoffreien Raume wenigstens eine Zeitlang zu atmen fort.

192. Vers. Versetzen wir die Keimlinge nach etwa 8—10 Tagen wieder in Luft zurück, so entwickeln sie sich nicht mehr weiter.

Die Versuchspflanzen haben also offenbar in sich selbst eine allerdings, wie der letzte Versuch zeigt, bald versiegende Sauerstoffquelle, sie entreißen nämlich sauerstoffhältigen Verbindungen ihres eigenen Körpers das zum Atmen nötige Oxygen, um damit so lange ihr Leben zu fristen, bis durch die Zertrümmerung der Moleküle ihrer organischen Substanz, welche ihnen außer dem Kohlenstoffe auch noch den Sauerstoff des ausgeschiedenen Kohlendioxyds liefern muß, der Stoffwechsel und mit ihm das Leben selbst ein Ende findet. Man bezeichnet den eben geschilderten Vorgang als intramolekulare Atmung und hat es dabei mit einer Erscheinung zu tun, welche zuerst an Tieren (Fröschen) beobachtet worden ist (Pflüger).

Nicht immer entstehen als Endprodukte der „physiologischen Verbrennung", wie man die Atmung der Pflanzen auch genannt hat, CO_2 und H_2O; mitunter treten weniger hoch oxydierte Substanzen, wie organische Säuren (in Sukkulenten) auf, obwohl zweifellos die zu einer vollständigen Oxydation hinreichende Sauerstoffmenge den Pflanzen zur Verfügung stehen würde. Nimmt aber letztere ab, wie bei der intramolekularen Atmung, so können manche Pflanzen trotzdem eine Zeitlang Kohlendioxyd in gleicher Menge wie vorher bilden. Da außerdem die Pflanzenatmung schon bei ganz niederen Temperaturen vor sich geht, reicht die Annahme einer direkten Oxydation zum Beispiel des Zuckers nicht hin.

Wesen und Bedeutung der Atmung.

Wir müssen uns vielmehr vorstellen, daß in solchen Fällen, wo eine direkte Oxydation nicht oder nicht in ausreichendem Maße vor sich geht, die von uns beobachtete Sauerstoffaufnahme auf die Mitwirkung von Substanzen zurückzuführen ist, welche selbst leicht oxydieren und den von ihnen aufgenommenen O auf die ersteren Substanzen abgeben (Oxydationsfermente, Oxydasen). Die Zelle selbst erzeugt sich solche leicht oxydierbare Körper, die mit dem Luftsauerstoff ein sog. Peroxyd geben. Letzteres gibt einen Teil seines O an die schwerer oxydierbaren Körper ab. Ihre Wirkung wird noch erhöht durch andere Fermente (Peroxydasen). Dazu kommt, daß bei der Atmung auch noch Gärungsfermente vorbereitend eingreifen (Bach, Palladin).

192a. Vers. Keimlinge von *Helianthus* oder *Vicia* werden zerquetscht, mit einigen cm^3 H_2O versetzt, filtriert und zum Safte einige Tropfen einer frisch bereiteten alkoholischen Guajaklösung zugesetzt, welche sich infolge ihrer Oxydation durch die im Safte enthaltenen Fermente intensiv bläut. Werden durch vor-

heriges Kochen des Saftes die Fermente zerstört, so unterbleibt die Bläuung.

Trotzdem wir also bei der Atmung dieselben Oxydationsprodukte und auch Wärmebildung auffinden konnten wie bei der allbekannten chemischen Verbrennung, ist die „physiologische Verbrennung“ atmender Pflanzen demnach doch ein viel komplizierterer Vorgang als jene: sie ist eine Funktion des lebenden Protoplasmas.

Nach neueren Anschauungen treten allerdings auch in der getöteten Zelle unter Umständen Oxydationsprozesse auf, welche aber mit dem Atmungsvorgange der lebenden Zelle nicht identisch sind. (Tote Oxydation Wiesners.)

Man könnte nun versucht sein, in dem zerstörenden Stoffwechselprozeß der Atmung einen für die Pflanze (und gleicherweise für das Tier) schädlichen Vorgang zu erblicken, wenn unsere Beobachtungen uns nicht eines Besseren belehrt hätten. Folgende Betrachtungen sollen unserem Verständnisse die eigentliche Bedeutung der als unentbehrlich erkannten Atmung in großen und groben Umrissen näherrücken, wenn wir auch von einer vollen Einsicht in dieselbe noch weit entfernt sind.

Wenn wir organische Stoffe, z. B. Kohle oder Holz verbrennen, so wird durch die Oxydation dieser Substanzen die Möglichkeit geschaffen, Arbeit zu verrichten, das heißt, es wird „Energie frei“. Da nach der modernen naturwissenschaftlichen Auffassung Energie nicht anders als durch Umwandlung schon in anderer Form vorhandener Energie entstehen kann, so haben wir uns den Vorgang so vorzustellen, daß in der Kohle etc. „chemische“ Energie aufgespeichert war, die sich jetzt in eine andere Energieform umgesetzt hat und, wie eine geheizte Lokomotive zeigt, mechanische Arbeit zu leisten imstande ist. (Vgl. auch die Darstellung im Kapitel „Reizerscheinungen“.)

Dieselben Erwägungen gelten nun auch für die physiologische Verbrennung, als welche wir die Atmung aufgefaßt haben. Durch die Oxydation des Atmungsmaterials, etwa des Zuckers, entstehen in letzter Linie die an Sauerstoff weit reicheren Endprodukte CO_2 und H_2O. Auch dabei wird die chemische Energie, welche in dem Zucker enthalten war, in mechanische Energie, zum Teil in Wärme, verwandelt. Und mit Hilfe der letzteren kann vom Organismus Arbeit geleistet werden, zunächst mechanische Arbeit: Die Atmung liefert somit die Betriebskraft, um die verschiedenen Leistungen des Organismus zu ermöglichen. Wir denken dabei vor allem an den großen Aufwand an Arbeit, der bei dem Wachstum der Zellen und der Organe nötig ist, um die wachsenden Partien auszudehnen, neue Moleküle zwischen die alten einzufügen. Es sind hierbei oft enorme Widerstände zu überwinden, so z. B. wenn die Wurzeln in den Boden eindringen oder der Keimstengel die Erde durchbricht. Außerdem

leistet die Pflanze auch noch chemische Arbeit: wenn als Endprodukte Kohlendioxyd und Wasser entstehen, so können diese Körper nicht weiter oxydiert werden, sie liefern daher auch keine Energie mehr; im Gegenteile, wenn sie im Stoffwechsel der Pflanze zu weiterer Verwertung gelangen, wenn z. B. bei der Assimilation CO_2 in C und O gespalten werden soll, so muß zu diesem Vorgange eine große Energiemenge aufgewendet werden. Die Betriebskraft hierzu liefert der Atmungsprozeß, die dazu nötigen Betriebsstoffe sind verschiedene organische Verbindungen, vor allem Kohlehydrate.

Kreislauf des Kohlenstoffes.

Zur Entstehung der letzteren braucht die Pflanze das Licht der Sonne. Die Energie der Lichtschwingungen befähigt das Chlorophyll, das CO_2-Molekül zu spalten, aus dessen Kohlenstoff dann die organischen Pflanzensubstanzen aufgebaut werden; in diesen ist die Energie der Lichtstrahlen in Form von chemischer Energie aufgespeichert worden und wird durch den Atmungsvorgang wieder in eine andere Energieform, nämlich in mechanische Energie rückverwandelt. Dabei kehrt das Kohlendioxyd an die Luft zurück Auf diese Weise vollführt der Kohlenstoff seinen großen Kreislauf, in dessen Kette die Pflanze ein wichtiges Mittelglied darstellt.

Energiegewinn bei der Gärung:

Auch ohne daß von außen Stoffe aufgenommen werden, wird Energie gewonnen: nicht bloß durch Oxydation mit Hilfe freien Sauerstoffes, sondern auch durch einfachen Zerfall eines Moleküls einer bestimmten chemischen Verbindung kann Energie entstehen. So wie man bekanntlich durch den Zerfall der Moleküle, welcher bei Explosionen mit großer Kraft und Plötzlichkeit erfolgt, Arbeit verrichten kann, so vermag auch die Pflanze durch solche Spaltungen Betriebskraft zu gewinnen.

So können die Denitrifikationsbakterien (vgl. S. 119) durch Reduktion der Salpetersäure Sauerstoff und damit Energie gewinnen. Aber die Abspaltung von Oxygen aus sauerstoffreichen Verbindungen ist nicht die einzige Energiequelle für die verschiedenen Pflanzen. Für die höheren Pflanzen ist sie auch unzureichend. (Vgl. „intramolekulare Atmung“.) Und gewisse andere Pflanzen, die Schwefelbakterien, können z. B. auch durch Oxydation von Schwefelwasserstoff und Abspalten von Schwefel, die Nitrobakterien (S. 118) durch Oxydation des Ammoniaks zu Salpetersäure Energie gewinnen und so ihre Lebensarbeit verrichten.

Derartige chemische Spaltungen, und zwar organischer Substanzen treten sehr allgemein bei denjenigen Vorgängen auf, welche man unter dem gemeinsamen Namen „Gärungen“ zusammenfaßt.

1. Alkoholgärung.

Die bekannteste derselben ist die Gärung, welche von dem Hefepilze in zuckerhältigen Flüssigkeiten erzeugt wird.

193. Vers. (Fig. 48.) Ein Standzylinder von etwa 20 *cm* Höhe und $4^1/_2$ *cm* innerer Weite trägt an seinem oberen Ende eine etwa 6 *cm* hohe, 8 *cm* breite Erweiterung. Das Standglas wird bis nahe seinem oberen Rande mit der in Vers. 152, 2 angegebenen, hefehältigen Nährlösung gefüllt, so daß die Flüssigkeit über die Rohrmündung eines kleinen Trichters emporreicht, der verkehrt über der Ausmündung des Standzylinders in die erwähnte Erweiterung aufgestellt ist. Jetzt wird der untere Teil der in Vers. 109 beschriebenen Gaseprouvette mit Wasser gefüllt und wie dort über das Trichterrohr geschoben, während der obere Teil der Eprouvette Nilblaulösung enthält. Diese Eprouvette wird erst, nachdem die Gärung einige Zeit vor sich gegangen ist, aufgesetzt und dann wie in Vers. 109 auf CO_2 geprüft. Die Eprouvette ist festzuklemmen und darauf zu achten, daß die aus dem unteren Teil derselben ablaufende Flüssigkeit nicht überläuft.

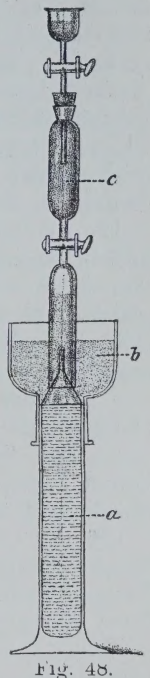


Fig. 48.

Nach längerer Zeit entwickelt sich im Standglas Geruch nach Alkohol.

194. Vers. Ein sicheres Mittel, diesen Stoff selbst in geringen Mengen nachzuweisen, haben wir in der sogenannten Jodoformprobe. Nach länger währender Gärung wird die Flüssigkeit abfiltriert, das Filtrat schwach erwärmt, reichlich Jodblättchen zugesetzt und hierauf etwas wässerige Kalilauge hinzugefügt. Es entsteht deutlicher Geruch nach Jodoform, beim Abkühlen ein gelblicher Niederschlag. (Nach Kolkwitz.)

Genaue Bestimmungen der Zuckermengen vor und nach Beendigung des Versuches ergeben eine Abnahme des Zuckergehaltes. Wir sind daher zu folgendem Schlusse berechtigt:

Der Hefepilz vergärt den Zucker zu Alkohol (C_2H_6O) und Kohlendioxyd, deren Mengen in einem solchen Verhältnisse stehen, als würde das Molekül Rohrzucker unter Wasseraufnahme in folgender Weise zerlegt:

$$C_{12}\,H_{22}\,O_{11} + H_2\,O = 4\,C_2\,H_6\,O + 4\,CO_2.$$

Nur anmerkungsweise sei erwähnt, daß bei diesem Gärungsvorgange der Rohrzucker nicht direkt gespalten, sondern zuerst durch das Enzym Invertase unter Wasseraufnahme in sogenannte Hexosen zerlegt wird; erst diese, unter welchen man Trauben- und Fruchtzucker unterschieden hat (vgl. die d-Glukose auf S. 14), werden vergärt.

Es braucht nicht näher auf die bekannte Tatsache hingewiesen zu werden, daß die Bildung des Kohlendioxyds zum Auftreiben des Teiges im Bäckereigewerbe, die Alkoholbildung zur

Bereitung alkoholischer Getränke, in erster Linie des Bieres, Verwendung findet, um danach die volkswirtschaftliche Bedeutung der Hefeorganismen zu würdigen. So haben wir also den mikroskopisch kleinen, einzelligen Hefepilz als eine wichtige Nutzpflanze des Menschen schätzen gelernt, die dieser schon seit jeher kultivierte und in seinen Dienst stellte, ohne ihr Dasein und Wesen zu kennen. Denn auch auf tiefer Kulturstufe finden wir bereits den Menschen mit der Praxis der Alkoholerzeugung aus zuckerhältigen Pflanzensäften (vgl. Palmwein, Pulque u. a. m.) genau bekannt. Die so allgemein verbreitete Kenntnis der Alkoholgärung ist angesichts der Tatsache, daß sich Hefepilze überall von selbst einstellen (S. 96), nicht weiter verwunderlich.

195. Vers. Man bringt in die gärende Flüssigkeit ein Thermometer; ein gleichzeigendes Thermometer taucht in ein Gefäß von denselben Dimensionen und derselben Form, das mit einer gleichen Menge Wasser gefüllt ist; beide Gefäße werden mit schlechten Wärmeleitern umhüllt und auf eine Flanellunterlage gestellt.

Bei der Gärung wird wie bei der Sauerstoffatmung Wärme erzeugt, die zum Teil auf den dabei auftretenden Stoffumsatz durch die Gärungsorganismen zurückzuführen ist. In gewissen Fällen kann eine so hohe Temperatur entstehen, daß leicht entzündliche Körper (Heu, Baumwolle) sich dabei selbst entzünden.

196. Vers. Man füllt eine lange Glasröhre mit 10%iger, durch Indigokarmin (vgl. Vers. 24, 3) gefärbter Zuckerlösung, fügt eine Portion gärfähiger Hefe hinzu und schichtet Petroleum darüber. Nach längerer Zeit ist die Flüssigkeit entfärbt worden. Gießt man dieselbe auf einen flachen Teller, so wird die Flüssigkeit wieder blau. (Nach Wiesner.)

Unter Berücksichtigung des bei Vers. 24, 3 Gesagten ergibt sich daraus deutlich die Tatsache, daß die gärende Hefe Sauerstoff aufnimmt.

In neuerer Zeit ist der interessante Nachweis gelungen, daß die Alkoholgärung auch ohne Anwesenheit lebender Hefezellen stattfinden kann, wenn der zuckerhältigen Flüssigkeit eine Substanz zugesetzt wird, welche man aus zerriebenen Hefezellen abgepreßt hat. Den wirksamen Bestandteil derselben nennt man Zymase.

2. Essigsäuregärung.

197. Vers. Lasse ein Glas mit lichtem Bier etwa bei 30 bis 40° C einige Zeit stehen. Es tritt Geruch nach Essigsäure auf.

Wir lernen hier eine neue Gärungsform kennen; durch die Tätigkeit der Essigsäurebakterien wird Alkohol zu Essigsäure vergoren. Auch dieser Prozeß wurde praktisch schon lange ausgeübt, indem man Wein oder Alkohol mit „Essigmudder“ versetzte, in welcher man erst viel später den Träger der genannten Pilze erkannte. Zur Beschleunigung der Essigbildung wurde es für vorteilhaft gefunden, den Alkohol durch Aufsaugen mittels

Sägespänen in möglichst innige Berührung mit Luft zu bringen, eine ebenfalls von der Praxis erkannte Hauptbedingung dieses Prozesses, deren Erklärung folgende ist.

Aërobe und anaërobe Pflanzen.

Schon aus der Praxis der Essigbereitung (vgl. die Erzeugung einer großen Oberfläche), exakter aus eingehenden Versuchen hat sich ergeben, daß die Essigsäurebakterien nur bei Sauerstoffgegenwart zu gedeihen vermögen. Man nennt solche Organismen daher „lufthold“ (= aërob), im Gegensatze zu den gelegentlich auch ohne freien Sauerstoff existenzfähigen Hefepilzen, die man als fakultativ-aërob bezeichnet. Hingegen sind andere niedrige Pilze, so die Bakterien der Buttersäuregärung direkt luftscheu (= anaërob); Zutritt von sauerstoffhältiger Luft vermag solche Formen, zu welchen zum Beispiel manche Bodenbakterien und die echten Fäulnisbakterien gehören, zu schädigen, ja sogar abzutöten.

Zum Teil ist es auf eine stete Durchlüftung fließender Gewässer zurückzuführen, daß das Wasser derselben, trotzdem natürlich eine große Menge organischer Stoffe darinnen aufgelöst ist, keine Fäulnisbildung aufweist, welche in stehenden Wasseransammlungen so leicht eintritt. Daneben spielen allerdings auch noch andere Prozesse mit; doch erkennen wir aus dem Gesagten zur Genüge in dieser Durchlüftung einen ausgleichenden Faktor, der einer übermäßigen Vermehrung der Fäulnisorganismen eine feste Schranke setzt.

3. Milchsäuregärung.

198. Vers. Zu einer 5%igen Zuckerlösung setzt man etwas alten Käse zu und läßt die Flüssigkeit bei etwa 30° C längere Zeit im Wärmeschrank stehen.

In der Nährlösung tritt durch die Tätigkeit von Milchsäurebakterien die sogenannte Milchsäuregärung auf, deren Erreger durch Gerinnen (Sauerwerden) der Milch ebenfalls eine praktisch schon längst ausgenützte Tätigkeit entfalten.

4. Buttersäuregärung.

199. Vers. Man bereitet eine Maische, bestehend aus zerriebenen Malzkörnern, welche etwa mit der dreifachen Wassermenge übergossen werden, und läßt sie bei 40° C im Wärmeschrank einige Zeit stehen.

In der Flüssigkeit entwickeln sich bald die Bakterien der Buttersäuregärung, welche bei der Reifung des Sauerkrautes und des Käses die Hauptrolle spielen.

So sehen wir denn zum Schlusse, daß der Sauerstoff im Leben der höheren Pflanze eine Rolle von hervorragendster Bedeutung spielt; die Gewächse, deren Organe mit der atmosphärischen Luft in Berührung sind, haben den Sauerstoff derselben sich zunutze zu machen verstanden. Zahlreiche niedere Lebewesen aber, welche in tieferen Erdschichten oder im Innern des Nährsubstrats vegetieren, haben sich von ihm unabhängig gemacht und andere Energiequellen für sich erschlossen. Der früher ausgesprochene Satz: „Ohne Sauerstoff kein Leben“, hat nicht

mehr die unumschränkte Geltung wie bisher und das Leben bei Mitwirkung des Sauerstoffes ist nur eine spezielle Anpassung gewisser Pflanzen an eben diese Existenzbedingung; andere Organismen können auch ohne dieses Element ihre Lebensarbeit abschließen und sich verschiedener anderer Mittel zur Bestreitung ihres Energiebedarfes bedienen. Die Mannigfaltigkeit in der Natur ist eben unerschöpflich und das Leben unter den verschiedenartigsten Bedingungen möglich.

Aufgaben.

1. Versuche die Ausscheidung von Kohlendioxyd durch Wurzeln, Knospen (von schwarzem Hollunder, Linde), von Blättern (*Tropaeolum*, Schwarzpappel, Walnuß) nachzuweisen (Vers. 180).

2. Untersuche die Atmung belaubter Zweige.

3. Wie lange bleiben gequollene Samen, in Wasserstoff eingeschlossen, lebensfähig? (Vers. 186.)

4. Untersuche die Größe der Atmung bei verschiedenen Temperaturen.

5. Vergleiche die Stärke der Atmung eines Pflanzenteiles in verschiedenen Entwicklungszuständen (in der Jugend, im Alter).

6. Lasse gleiche Gewichtsmengen von Mauerpfeffer, Rettichsamen und Weizenkörnern atmen; vergleiche die in gleichen Zeiten ausgeschiedenen CO_2-Mengen miteinander.

7. Warum wird die Wurzelbildung an einem geringelten Weidenstamme unterdrückt, wenn der Zweig mit Vaselin bestrichen wird?

8. Überziehe junge Früchte mit Vaselin und vergleiche ihre Entwicklung mit der normaler Früchte.

9. Setze Samen in einem hohen Glaszylinder in verschiedenen Erdtiefen ein. Welche keimen rascher? Warum?

10. Untersuche die Atmung von noch nicht ausgewachsenen Pilzen („Schwämmen").

11. Lasse Hefe in verschieden konzentrierten Zuckerlösungen und bei verschiedenen Temperaturen gären

12. Sind Zimmerpflanzen als „Luftverbesserer" in unseren Schlafräumen von Bedeutung?

Wachstum und Formbildung.

Die sinnfälligste Erscheinung im Leben der Pflanzen ist zweifellos das Wachstum. Wir sehen den mächtigsten Baumriesen aus einem Samenkorn hervorgehen, wir können bei erwachender Vegetation von Tag zu Tag ihre fortschreitende Entwicklung beobachten. Freilich wächst auch der tierische Organismus, aber sein Wachstum ist zumeist ein verhältnismäßig langsames und erlischt — wenigstens bei oberflächlicher Beobachtung — mehr oder minder frühzeitig, sobald die schon im Embryo angelegten Organe ihre Entwicklung beendet haben. Bei vielen Pflanzen jedoch — denken wir nur an unsere Holzgewächse — können wir den Zeitpunkt, wo sie ausgewachsen sind, überhaupt nicht fixieren. Alljährlich sprießen neue Äste und Blätter hervor, der Baum wird stets mächtiger, seine Krone verzweigter, sein Stamm dicker. Man wäre versucht, zu sagen: Wie das Tier durch Bewegung, so ist die Pflanze durch Wachstum charakterisiert. Diese auf primitiver Naturbeobachtung fußende Charakteristik der Pflanze ist ja auch durch unser uraltes Wort „Gewächs", das Wachsende schlechthin, gegeben. „Wachsen" aber hängt zusammen mit dem indischen Worte vaksh, mit dem griechischen αὐξάνω, das heißt vergrößern. Mit dieser Worterklärung haben wir auch die einfachste Definition des Begriffes Wachstum erhalten, die wir allerdings noch etwas schärfer fassen müssen, wollen wir einen wissenschaftlich genauen und verwertbaren Ausdruck gewinnen.

Auch eine Flechte, die als weißliche Kruste einem Steine oder der Baumrinde angeschmiegt ist oder bald als zierlicher Becher, bald als sparriges Sträuchlein den Boden bedeckt, wird sichtlich größer, wenn sie, vom Regen benetzt, zum Leben zu erwachen scheint, ebenso wie ein Same sich vergrößert, wenn man ihn in Wasser legt Verdunstet aber das Wasser, so wird wieder die ursprüngliche Größe erreicht. Eine derartige Vergrößerung beruht offenbar nicht auf Wachstum, sondern auf Quellung (s. S. 22). Als Wachstum bezeichnen wir demnach nur dauernde Vergrößerung eines Organs. Mit dieser Definition allein haben wir freilich noch keinerlei Einblick in das rätselvolle und vielseitige Problem des Wachstums gewonnen. Zu

diesem Zwecke wollen wir zunächst das Wachstum in bestimmten Fällen eingehender verfolgen.

Methoden der Wachstumsmessung.

Die Methoden, welche uns dabei zur Verfügung stehen, sind im Prinzip sehr einfach, ihre Anwendung erfordert jedoch ziemliche Gewandtheit im Experimentieren und einen beträchtlichen Aufwand von Zeit und Geduld, weshalb hier nur einige grundlegende Versuche erläutert werden sollen.

Da das Wachstum der Organe mit wenigen Ausnahmen immerhin so langsam vor sich geht, daß wir es nicht ohne weiteres verfolgen können, wollen wir zunächst den Zuwachs vergrößern. Wir bedienen uns hierzu eines Auxanometers (Fig. 49), im Prinzip nichts anderes als ein ungleicharmiger Hebel, mit dessen kürzerem Arm die wachsende Pflanze verbunden ist.

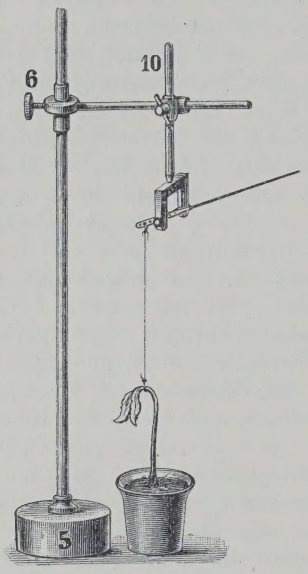


Fig. 49.

Wir benützen zu diesem Zwecke ein Stativ, auf dessen Querarm (6) ein nach unten offener Bügel (10) verschiebbar angebracht ist. Auf einer zwischen dessen Backen drehbaren horizontalen Achse ist ein ungleicharmiger Hebel angelötet; ein Ende desselben läuft in eine Spitze aus, während das zweite abgeflacht und mehrfach durchlocht ist. Wir legen um die zu untersuchende Pflanze eine Fadenschlinge und binden das andere Ende des Fadens in einem der Löcher des Hebels so an, daß sein längerer Arm horizontal oder schräg nach oben steht. Auf die Spitze des längeren Armes wird zur weiteren Verlängerung ein Strohhalm geschoben.

Wächst die Pflanze, so bewegt sich der kürzere Hebelarm nach oben, während der längere Arm sinkt und durch seinen Ausschlag den stark vergrößerten Zuwachs erkennen läßt. Stellt man hinter die Spitze des Strohhalmes einen Maßstab auf, so läßt sich jeder Zuwachs leicht ablesen.*) In gleicher Weise, wie es für den Transpirationsapparat beschrieben wurde, können wir auch mit dem Auxanometer das dort geschilderte Registrierwerk in Verbindung bringen und auf diese Weise den halbstündigen

*) Genau genommen verhält sich der kürzere zum längeren Hebelarm wie der wirkliche Zuwachs zum Sinus des vom längeren Arme beschriebenen Winkels. Bei der Kleinheit der bei kürzerer Beobachtungsdauer in Betracht kommenden Winkeln kann aber der Sinus dem Bogen gleichgesetzt werden.

Zuwachs mit Hilfe des langen Hebelarmes (Strohhalmes) auf einer berußten Trommel aufschreiben (s. Fig. 12).

200. Vers. Wir verbinden einen 3—5 *cm* langen eingetopften Keimling von *Phaseolus*, *Helianthus* oder dergleichen mit dem Auxanometer und registrieren den Zuwachs. Um eine Krümmung zum seitlich einfallenden Lichte zu vermeiden (s. Heliotropismus), verfertigen wir aus starkem Papier einen Zylinder, den wir über die Pflanze stülpen. Bei genaueren Versuchen ist der Gang der Temperatur und Feuchtigkeit abzulesen. In der Regel bedienen wir uns aber des Auxanometers nur zu Demonstrationsversuchen.

Wir konstatieren zunächst, daß das Wachstum so intensiv ist, daß wir halbstündig einen deutlichen Zuwachs nachweisen können. Wir sehen aber auch, daß die Zuwächse nicht stets gleich groß sind, namentlich wenn wir an aufeinanderfolgenden Tagen dieselbe Pflanze zu unserem Versuche benützen.

Wir wollen diese Tatsache durch direkte Messung genauer verfolgen und stellen folgendes einfache Experiment an.

201. Vers. Ein 1·5—2 *cm* langer Keimling von *Phaseolus multiflorus* wird mit Hilfe eines Haarpinsels mit zwei feinen Tuschmarken in Form von zarten Querstrichen versehen, von denen der eine knapp über dem Boden, der zweite an der Ansatzstelle der ersten Blätter zu stehen kommt. Diese Distanz wird nun an aufeinanderfolgenden Tagen etwa während einer Woche hindurch genau abgemessen, wobei man sich mit Vorteil eines biegsamen Millimetermaßes (Millimeterpapier) bedient.

Wir entnehmen den Messungen, daß der Keimling tatsächlich ungleich schnell wächst. Die zunächst geringen Zuwächse werden allmählich größer, erreichen ein Maximum, um dann wieder abzunehmen.

202. Vers. Wir wollen nun nur eine bestimmte Querzone des Keimstengels in gleicher Weise prüfen und bringen daher eine Marke an der Ursprungstelle der ersten Blätter, eine zweite 3 *mm* davon entfernt an. Eine tägliche Messung ergibt, daß auch diese Zone für sich in gleicher Weise wie der ganze Keimling ungleichmäßig wächst.

Durch unsere beiden Versuche haben wir ein ganz allgemein gültiges Wachstumsgesetz nachgewiesen, welches dahin lautet, „daß jeder Pflanzenteil, und zwar jede kürzeste Querscheibe eines solchen zuerst langsam, dann aber mit wachsender Geschwindigkeit sich verlängert, ein Maximum der Wachstumsgeschwindigkeit erreicht und dann wieder langsam und immer langsamer wächst, bis endlich das Wachstum ganz aufhört“. Diese Erscheinung wurde von ihrem Entdecker J. Sachs als „große Wachstumsperiode“ bezeichnet.

Nachdem wir dieses allgemeine Wachstumsgesetz kennen gelernt haben, erübrigt es noch, die Unterschiede im Wachstum der einzelnen Grundorgane der Pflanze (Stamm, Blatt und Wurzel) festzustellen.

Längenwachstum des Stammes.

203. Vers. Wir tragen diesmal auf einen 2 *cm* langen Keimling von der Spitze bis zur Basis Marken in gleicher Entfernung voneinander (etwa 3 *mm*) auf. Betrachten wir den Keimling nach einem Tage, so finden wir eine Reihe von Marken verschwommen, da die feinen Querstriche durch das Wachstum des Stengels zu breiteren Linien auseinandergezerrt wurden. Wir messen die Länge der markierten Zonen wie im Versuche 201 ab, wobei wir von Mitte zu Mitte der verschwommenen Marken messen. Alle ein bis zwei Tage wird eine neue Messung vorgenommen. Wir erkennen, daß der Keimling zunächst in seiner ganzen Länge wächst, das Wachstum aber allmählich von der Basis gegen die Spitze hin eingestellt wird. Der stärkste Gesamtzuwachs (Zuwachsmaximum) ist im oberen Teile des Stengelorgans nachweisbar. (Genauere Messungen lassen an derartigen Stengeln zwei Zuwachsmaxima erkennen [Wiesner].)

Wir haben schon bei früherer Gelegenheit die Wachstumsgeschwindigkeit — das heißt den mittleren Zuwachs in der Zeiteinheit — bestimmt. Wollen wir aber die Wachstumsenergie verschiedener Keimlinge oder verschiedener Organe miteinander vergleichen, so reicht diese Bestimmung nicht hin. Nehmen wir an, zwei Organe würden pro Stunde dieselbe Zuwachsgröße aufweisen, in einem Falle wäre aber nur eine Zone von 5 *mm*, im anderen eine Strecke von 50 *mm* im Wachstume begriffen; wenngleich der absolute Zuwachs bei beiden Organen derselbe ist, so besitzt doch zweifellos das erstere eine zehnmal größere Wachstumsenergie. Wir gelangen also erst dann zu vergleichbaren Werten, wenn wir auch die Länge der Wachstumszone mit in Rechnung ziehen, indem wir den stündlichen Zuwachs in Prozenten der Wachstumszone ausdrücken, deren Länge wir am markierten Keimling leicht abmessen können.

Bisher haben wir nur das Wachstum von Keimpflanzen, welche erst ein Stengelglied entwickelt hatten, verfolgt. Wächst ein solcher Keimling heran, so entfalten sich bald neue Blätter an dem sich verlängernden Stengel. Die Stellen des Stengels, an welchen ein Blatt oder ein Blattpaar entspringt, werden Knoten oder Nodi genannt, während das zwischen zwei Knoten gelegene Stengelstück als Stengelglied oder Internodium bezeichnet wird. Unsere Beobachtungen sollen nun auch auf eine derartige Pflanze mit mehreren Internodien ausgedehnt werden.

204. Vers. Die jüngsten drei Internodien eines Zweiges irgendeines Holzgewächses, wie Ahorn, Linde, Flieder oder in deren Ermanglung eine junge im Topf erzogene, noch nicht

windende Bohnenpflanze, welche eben drei Stengelglieder gebildet hat, werden in Zonen von 3—4 *mm* mit Tuschpunkten markiert und der Zuwachs in Zwischenräumen von je zwei bis drei Tagen verfolgt. Wir können uns überzeugen, daß jedes Internodium für sich dieselbe Wachstumsverteilung aufweist wie ein Keimling mit nur einem Stengelgliede, indem das Wachstum an seiner Basis zuerst erlischt. Dieselbe Beobachtung machen wir aber auch an der Gesamtheit der Internodien. Auch hier ist wie an jedem Stengelgliede für sich das Zuwachsmaximum an der Spitze gelegen. Die Wachstumszone umfaßt bei verschiedenen Stammgebilden oft 10 – 50 *cm* und ist auf drei bis vier, häufig auch auf zahlreiche Stengelglieder verteilt.

Wachstum des Blattes.

205. Vers. 1. Wir kultivieren *Allium Cepa* oder Hyazinthen im Topf und schneiden die zur Entfaltung gekommenen Blätter knapp über der Zwiebel ab. Trotzdem werden sie in kurzer Zeit wieder ihre frühere Länge erreicht haben.

In diesem Falle muß also an der Basis noch eine wachsende Zone vorhanden gewesen sein.

2. Ein wenige Zentimeter langes Blatt einer Hyazinthe (oder *Clivia*, *Agapanthus*) wird in gewohnter Weise markiert. An aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführte Messungen ergeben, daß die Spitze eines ganz jungen Blattes bereits ausgewachsen ist, das lebhafteste Blattwachstum daher ausschließlich an der Basis vor sich geht.

Die Mehrzahl der Blätter verhält sich in gleicher Weise, doch gestaltet sich bei ihnen der Nachweis der Wachstumsverteilung schwieriger.

Damit haben wir einen charakteristischen Unterschied im Wachstume von Stamm und Blatt festgestellt, wenngleich das Vorhandensein von mancherlei Ausnahmen nicht verschwiegen werden soll.

Außer den beiden bereits erläuterten Fällen der Wachstumsverteilung bleibt noch eine dritte Möglichkeit bestehen, nämlich das Auftreten einer maximalen Zuwachszone in der Mitte eines Organs, ein interkalares Wachstum.

Interkalares Wachstum des Grashalmes.

206. Vers. Wir verwenden zu unserem Versuche einen Grashalm (Getreidehalm), aus welchem wir ein Internodium derart herausschneiden, daß es beiderseits von einem Knoten begrenzt wird. Nun schneiden wir es in der Mitte quer durch, stellen beide Hälften in ihrer natürlichen Lage, nachdem wir ihre Länge gemessen haben, in ein Glas Wasser oder in feuchten Sand und stülpen über das Ganze eine Glasglocke. Nach einigen Tagen konstatieren wir, daß nur die untere Hälfte unseres Halmstückes einen Zuwachs erfuhr, welcher schon daran zu erkennen ist, daß jetzt der Halm den stehen gebliebenen Teil der Blattscheide um einige Millimeter überragt. Die Wachstumszone liegt also im

unteren Teile eines Internodiums, mithin zwischen den bereits ausgewachsenen Teilen aneinander stoßender Halmstücke. Wir können diese Stelle ohne weiteres an ihrer Weichheit und ihrem meist großen Zuckergehalt, der sich schon dem Geschmacke kundgibt, erkennen.

Eine gesonderte Betrachtung erfordert das Wachstum der Wurzel.

Wachstum der Wurzel.

207. Vers. Um das Wurzelwachstum leicht beobachten zu können, benützen wir als Kulturgefäß einen Präparatenzylinder mit eingeriebenem Stöpsel (Fig. 53), an dessen Unterseite ein größerer Korkstoppel mit Siegellack oder besser mit Hausenblase festgekittet wird; er dient zur Befestigung der Keimlinge (z. B. *Vicia Faba*), welche ähnlich wie in Fig. 50 mit langen starken Stecknadeln (Insektennadeln) so festgespießt werden, daß die Wurzeln möglichst genau vertikal nach unten gerichtet sind. Die Nadel soll gleichzeitig eine vorher um den Samen gelegte Filterpapierhülle (auf der Fig. der Einfachheit halber weggelassen) festhalten, welche erforderlich ist, um den Samen beständig feucht zu erhalten. Man stellt sie am einfachsten so her, daß man die Wurzel durch ein quadratisches, in der Mitte durchlochtes Filterpapierstückchen steckt und dieses über dem Samen faltet. Ist die Wurzel in der richtigen Lage fixiert, so wird sie ähnlich wie in Vers. 203, und zwar von der Spitze gegen die Basis hin markiert. Die äußerste Spitze in einer Ausdehnung von ca. 0·5 *mm*, welche der Wurzelhaube entspricht (sie erscheint etwas durchsichtiger als die Wurzel), wird von der Markierung ausgeschlossen. Die Teilstriche werden möglichst genau in der Entfernung von je 1 *mm* (s. Fig. 50 links) aufgetragen, nachdem die Wurzel vorher durch vorsichtiges Betupfen mit Filterpapier abgetrocknet wurde, um das Haften der Tuschmarken zu erleichtern. Nun wird das Gefäß einige Zentimeter hoch mit Wasser gefüllt, das die Samen umhüllende Filterpapier befeuchtet und das verschlossene Gefäß bei Zimmertemperatur unter einem Dunkelsturze aufgestellt. Nach 24 Stunden wird die Länge der Marken neuerlich gemessen; sie zeigen jetzt die Verteilung wie in Fig. 50 rechts.

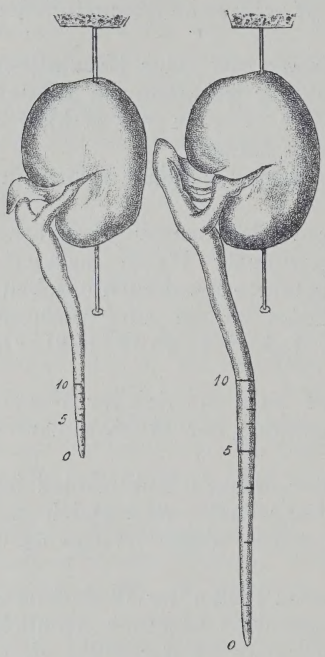


Fig. 50 (z. T. nach Sachs).

Während die der Spitze zunächst liegenden Zonen der Wurzel nur eine unbedeutende Verlängerung erfahren haben, trat das energischeste Wachstum in der Entfernung von 3—5 *mm* von der Spitze ein; nach der Basis hin ist jedoch wieder eine Abnahme des Zuwachses zu erkennen (große Periode). Je weiter die Wurzel wächst, desto mehr verschiebt sich die Zone des stärksten Wachstums gegen die Spitze hin. Die Länge der wachsenden Zone ist im Gegensatz zu der Mehrzahl der Stengel sehr kurz. Am ausgewachsenen Teil der Wurzel kommen die im feuchten Raume gut zu beobachtenden Wurzelhaare (in der Fig. 50 nicht eingezeichnet) zur Entwicklung (vgl. S. 32).

Bisher war ausschließlich vom Längenwachstum ganzer Organe die Rede. Eine mikroskopische Untersuchung würde uns aber belehren, daß das Wachstum eines Pflanzenteiles auf dem Wachstum der Zellen beruht, welche in ihrer Gesamtheit das Organ bilden. Selbst an den Teilen der Zelle können wir, soweit sie lebend sind, Wachstum unzweifelhaft nachweisen. Der Zellkern, die Chlorophyllkörner, sogar die Zellwand wachsen bis zu einer bestimmten Größe heran. Das Wachstum ist demnach ebenso eine allgemeine Eigenschaft der lebenden Substanz wie der Stoffwechsel.

Aus der Tatsache, daß auch die Zellen und ihre Teile für sich wachsen können, geht hervor, daß sich das Wachstum nicht immer in der Vergrößerung eines ganzen Organs äußern muß, da auch Wachstumvorgänge innerhalb der an Größe unveränderten Zelle auftreten können. (Zum Beispiel Dickenwachstum der Zellhaut.)

Es ist aber auch denkbar und auch tatsächlich leicht nachzuweisen, daß die einzelnen Gewebe, welche ein Organ zusammensetzen, ungleich schnell wachsen; das Wachstum kann sich in solchen Fällen ausschließlich in einer gegenseitigen Spannung der Gewebe äußern.

Gewebespannung als Wachstumserscheinung.

208. Vers. Halbiere der Länge nach einen jungen Blütenschaft von *Taraxacum*. Die beiden Hälften klaffen weit auseinander, indem sich die inneren im Wachstume vorausgeeilten Gewebe jetzt nach Aufhebung des Zusammenhanges strecken, während sich die äußeren, im Wachstum zurückgebliebenen und daher im Zuge gespannten Gewebe ihrer Elastizität folgend verkürzen.

209. Vers. Löse nach vorhergehender Ringelung einen 1—2 *cm* breiten Rindenstreifen von einem *Sambucus* oder Weidenzweig ab und suche ihn wieder um die Wunde herumzulegen.

Der Rindenstreifen scheint jetzt zu kurz; die Rinde war am unversehrten Stamm offenbar der Quere nach im Zuge gespannt gewesen. Derartige „Gewebespannungen“ spielen als Festigungseinrichtung der Organe eine ähnliche Rolle wie der Turgor (vgl. S. 29).

Gegenüber unserer oben gegebenen Erklärung des Wachstums als einer für das Leben charakteristischen Erscheinung könnte man einwenden, daß auch nichtorganisierte Gebilde unter Umständen dem Wachstume unterworfen sind. Wir brauchen nur eine Salzlösung langsam verdunsten zu lassen, so erkennen wir, wie sich zunächst kleine Würfelchen von Salzkristallen am Boden des Gefäßes absetzen, die mit fortschreitender Verdunstung immer größer und deutlicher werden. Es wachsen also auch Kristalle. Und doch ist diese Art des Wachstums offenbar vom Wachstum eines Organismus verschieden, wenngleich es schwierig ist, den Unterschied in Worte zu fassen. Um ihn in Kürze zu kennzeichnen, folgen wir Lamarck, welcher in seiner berühmt gewordenen „Philosophie zoologique“ (1809) zeigte, daß die Kristalle durch bloße Auflagerung von Substanz, die Organismen und ihre lebenden Teile hingegen von „innen heraus“, das heißt durch Organisationsvorgänge, welche innerhalb des Organismus vor sich gehen, wachsen. Auch für diesen Vorgang, der sich unserer derzeitigen Einsicht freilich zum größten Teile entzieht, hat unsere Sprache ein bezeichnendes Wort: Entwicklung. (Evolutionswachstum im Sinne Wiesners.)

Meristem und Dauerzellen.

Wie die Inhaltsbestandteile einer Zelle, so erreicht auch diese selbst nur eine bestimmte Größe, welche durch ihre spezielle Aufgabe, ihre Funktion, und durch ihren gesetzmäßigen Zusammenhang mit den übrigen Zellen eines Organs bedingt wird. Das Längenwachstum eines Pflanzenteiles müßte demnach sehr bald erlöschen, wäre nicht für eine Neubildung von Zellen Sorge getragen. Eine solche geht aber nur an ganz bestimmten Stellen vor sich, welche als Vegetationspunkte bezeichnet werden. Sie bestehen (wenigstens bei höheren Pflanzen) aus einem Komplex von Zellen, dem Bildungsgewebe oder Meristem, dessen Elemente durch die Fähigkeit lebhafter Teilbarkeit ausgezeichnet sind. (Nur bei nieder organisierten Pflanzen, in welchen die Arbeitsteilung auf geringer Stufe steht, ist jede Zelle teilungsfähig.)

Diese annähernd gleichartigen Zellen wachsen nun heran, indem sie die mannigfaltigsten Formen und Funktionen übernehmen. Auf dieser Entwicklungsstufe haben sie aber die Fähigkeit der Teilbarkeit unter gewöhnlichen Umständen verloren; sie sind zu Dauerzellen geworden.

Entsprechend den Stellen, wo der neue Zuwachs erfolgt, finden wir den Vegetationspunkt im Stamme und in der Wurzel an der Spitze des Organs gelegen, während er im Blatte an der Basis, im Grashalm „interkalar“, nämlich oberhalb jedes Knotens, zu finden ist. Diese überaus zarten Bildungsgewebe bedürfen begreiflicherweise, namentlich wenn sie den Scheitel eines Organs einnehmen, eines besonderen Schutzes. Wir finden daher die Vegetationsspitze des Stammes zwischen dichtgelagerten jungen

Blättern wohl geborgen, während der in den Boden eindringenden Wurzelspitze durch die Wurzelhaube der entsprechende Schutz gewährt wird.

Das Dickenwachstum des Stammes.

Unseren Holzgewächsen kommt aber erfahrungsgemäß außer dem bisher besprochenen Längenwachstume auch ein mehr oder minder beträchtliches Dickenwachstum zu, welches offenbar gleichfalls auf einer Zellvermehrung beruht, die von einem Meristem ihren Ausgang nehmen muß. Wo ist nun dieses Meristem zu suchen? Der mikroskopische Bau des Stammes gibt uns sofort die gewünschte Aufklärung. Das Bildungsgewebe, das an den in Teilung begriffenen, zartwandigen und inhaltreichen Zellen kenntlich ist, bildet am Stammquerschnitt einen aus mehreren Zellreihen bestehenden Ring, welcher sich zwischen Holz- und Siebteil einschiebt und den Namen Kambium oder Verdickungsring führt (vgl. Fig. 19 *c*, S. 55). Es ist das einzige Gewebe, dessen Zellen, obgleich aus der Vegetationsspitze des Stammes hervorgegangen, ihre Teilbarkeit erhalten haben oder welche, wie wir uns auszudrücken pflegen, in dem meristematischen Zustand verblieben sind. Indem die durch Teilung nach innen und außen zu hervorgehenden Zellen sich in Holz-, beziehungsweise Rindenzellen umwandeln, bewirken sie das Dickerwerden des Stammes. Von der Richtigkeit dieser Tatsache können wir uns leicht überzeugen.

210. Vers. Wir ziehen im Frühjahre von einem Stammstücke eines schnellwüchsigen Holzgewächses, wie *Sambucus*, *Salix*, *Acer Negundo*, *Alnus*, die Rinde bis zum Holzkörper in Form eines mehrere Zentimeter breiten Ringes ab, was leicht gelingt, wenn man vorher in der gewünschten Entfernung zwei Ringschnitte anbringt und nun vorsichtig mit einem Messer die Rinde des von diesen begrenzten Teiles abträgt (vgl. S. 53). Am Ende der Vegetationsperiode, besser noch im folgenden Jahre wird man schon mit bloßem Auge den beträchtlichen Unterschied in der Stammdicke des geringelten und des unversehrten Teiles erkennen.

Arbeitsleistung beim Dickenwachstum.

Indem der Holz- und Siebteil des Stammes und ebenso der Wurzel sich alljährlich verdickt, muß ein Druck auf das den Stamm umschließende Hautgewebe ausgeübt werden. Daß dieser Druck eine ganz gewaltige Größe erreichen kann, läßt sich oft an Wurzeln von Holzgewächsen beobachten, welche in Felsspalten oder zwischen die Quadern einer Mauer eingedrungen sind und sie durch ihr zunehmendes Dickenwachstum zum Bersten gebracht haben. Einem derartigen Drucke kann natürlich die Oberhaut, welche die jungen Stengel und Wurzeln ähnlich wie die Blätter (vgl. S. 43) überzieht, nicht standhalten. In der Mehrzahl der Fälle wird sie infolgedessen gesprengt, nachdem vorher für einen Ersatz gesorgt wurde. Die Oberhautzellen selbst oder die darunter liegenden, bereits völlig ausgewachsenen

Zellen der Rinde haben neuerlich die Fähigkeit zur Teilung erlangt, sie sind in das Stadium des Meristems zurückgekehrt. (Folgemeristem). Durch zahlreiche Teilungen parallel zur Oberfläche bilden sie nun dicht aneinanderschließende, verkorkte und daher für Wasser undurchlässige Zellen aus, welche die der Vernichtung preisgegebene Oberhaut in zweckmäßiger Weise ersetzen. Dieses als Korkhaut oder Periderm bezeichnete Gewebe, welches dadurch mit der Dickenzunahme Schritt halten kann, daß sich von innen her immer neue Zellen anlegen, während die äußeren abgestoßen werden, ist schon an seiner braunen Farbe und glatten Beschaffenheit leicht kenntlich. Später werden noch tiefer liegende Zellschichten vom gleichen Prozeß ergriffen: es bildet sich die rissige Borke.

Solche bis aufs Kambium reichende Wunden, wie wir sie im letzten Versuche durch Ringelung erzielten, treffen wir auch unter natürlichen Umständen häufig genug an. Oft sind namentlich junge Kulturen Opfer des Hochwildes, welches mit Vorliebe die Rinde schält; nicht selten reiben sich auch Äste aneinander und bringen sich derartige Wunden bei. Man sollte nun glauben, daß an solchen Stellen, welche infolge des fehlenden Kambiums nicht in die Dicke wachsen können, eine immer stärker zunehmende Vertiefung auftreten müßte. Doch ist dies, wie eine genauere Beobachtung lehrt, keineswegs der Fall.

Fig. 51.

Wundheilung.

211. Vers. Wir schneiden aus einem stärkeren Ast oder Stamm eines Laubholzes ein rechteckiges, nicht allzu großes Rindenstück heraus oder beobachten eine derartige Wunde. Nach Verlauf einiger Zeit läßt sich erkennen, daß sich die Wundränder wulstförmig vorwölben und gegeneinander zuwachsen, wie es auf unserer Abbildung, welche eine im Vernarben begriffene, durch einen Specht hervorgerufene Verwundung einer Grauerle in natürlicher Größe darstellt, deutlich erkennbar ist (Fig. 51).

Nach längerer Zeit, oft erst nach Jahren treffen die Ränder aufeinander und verschmelzen miteinander, so daß die Wunde ganz geschlossen wird. Eine mikroskopische, allerdings ziemlich schwierige Untersuchung würde uns lehren, daß diese Wucherung, der sogenannte Kallus, von den unverletzten Teilen des Kambiums ausgeht. Im Kallus wird ein neues Kambium angelegt, welches wie gewöhnlich nach außen Siebröhren etc., nach innen Holz bildet, so daß nach Vernarbung der Wunde das Dickenwachstum weiter normal vor sich gehen kann. (Sind die Wunden zu groß, so werden sie nicht selten zu Einbruchspforten von holzzerstörenden Pilzen. Überdies wird, wenigstens bei vollständiger Ringelung, die Wasserversorgung nach einiger Zeit

eine mangelhafte, nicht allein wegen der starken Verdunstung an der Wundfläche, sondern hauptsächlich wegen der infolge mangelhaften Zuflusses an Baustoffen [vgl. S. 136] gehemmten Entwicklung des Wurzelsystems. Um diese Gefahren wenigstens teilweise einzuschränken, verschmiert man in der Praxis derartige Schälwunden und Aststummeln mit Lehm oder Baumwachs.)

Für uns ist diese Beobachtung hauptsächlich deshalb von Wichtigkeit, weil wir erkennen, daß die Pflanze imstande ist, selbst weitgehende Verletzungen auszuheilen. Wir werden sofort sehen, daß die Heilung noch in anderer Weise erfolgen kann.

212. Vers. Man durchschneide eine Kartoffel, lege sie in eine Schale und bedecke diese mit einer Glasplatte, um ein Austrocknen zu verhindern. Etwa nach einer Woche erscheint die Wundfläche schwach, später deutlicher braun. Ein senkrecht zur Wundfläche geführter Schnitt bestätigt unsere Vermutung, daß die Wunde durch eine Korkhaut abgeschlossen wurde, welche sich von dem gewöhnlichen Periderm, das die Kartoffel bedeckt, in nichts unterscheidet.

Die Verletzung war demnach die Ursache, daß bereits ausgebildete Zellen das Teilungsvermögen wiedererlangten. Die gleiche Wundheilung erfolgt regelmäßig an Stämmen bei Verletzungen, welche nicht bis zum Kambium reichen.

Wir haben im vorigen Versuch nur ein Gewebe verletzt. Wie verhält sich nun die Pflanze gegenüber schweren Beschädigungen, wie sie durch Abschneiden ganzer Organe hervorgerufen werden? Wenden wir uns zunächst der Wurzel zu.

213. Vers. Wir benützen einen Keimling von *Vicia Faba*, dessen Wurzel zirka 10—20 *mm* Länge erreicht hat, und kultivieren ihn im feuchten Raume wie im Vers. 207. Mit einem scharfen Messer (Rasiermesser) wird nun die Wurzelspitze in einer Ausdehnung von 1·5— 2 *mm* abgeschnitten und von Zeit zu Zeit werden die vor sich gehenden Veränderungen beobachtet. Nach spätestens einer Woche hat sich eine neue deutlich erkennbare Wurzelspitze (samt Wurzelhaube), also ein Vegetationspunkt, ausgebildet, die der ursprünglichen in allen Teilen gleicht.

Wir bezeichnen einen derartigen Ersatz verloren gegangener Teile als Regeneration.

Durchschneiden wir nun eine Wurzel (z. B. von *Vicia Faba*) in einer höheren Zone in einer Entfernung von 3—5 *mm* von der Spitze. (Zum Vergleiche beobachten wir eine unversehrte Wurzel.) In diesem Falle erfolgt kein Ersatz des Vegetationspunktes mehr. Wenn wir aber die Bildung der Seitenwurzeln längs der ganzen Hauptwurzel abwarten, können wir eine interessante Beobachtung machen. An der unverletzten Wurzel bilden die Seitenwurzeln mit der Vertikalen Winkel von 70—90°. Dieselben Winkel, die mit einem Transporteur hinreichend genau abgelesen werden

können, treffen wir an den oberen Seitenwurzeln der amputierten Pflanze. Nur die unmittelbar oberhalb der Wundstelle entspringenden Wurzeln nehmen einen nahezu vertikalen Verlauf.

Wenngleich in diesem Falle eine Regeneration der Hauptwurzel unterbleibt, so wird insofern doch ein Ersatz erreicht, indem sie durch eine oder mehrere Seitenwurzeln vertreten wird, welche an unverletzten Pflanzen eine ganz andere Richtung eingeschlagen hätten. Wir begnügen uns mit der bloßen Konstatierung dieser Tatsache und der Erkenntnis ihrer Zweckmäßigkeit, ohne die Frage nach der Ursache der veränderten Wachstumsrichtung aufzuwerfen.

Es sollen zunächst unsere Versuche über Folgen von Verletzungen auf andere Organe ausgedehnt werden.

214. Vers. Wir schneiden im Frühjahre die Endknospe eines Fichtenbäumchens ab und beobachten das Verhalten der im Quirl darunter stehenden Seitenknospen beim Austreiben.

Einer oder mehrere der Seitenzweige richten sich vollkommen vertikal auf und nehmen ganz den Charakter der Hauptachse, deren Ersatz sie bilden, an, was am auffälligsten in der Art der Verzweigung zum Ausdruck kommt. Während sich ein Seitenzweig unter normalen Verhältnissen in annähernd horizontaler Ebene verzweigt, finden wir am aufgerichteten Zweige die Knospen für das kommende Jahr nach allen Seiten angelegt. Der Zweig ist infolge der Verletzung des Endtriebes zu einem radiären statt, seiner ursprünglichen Anlage entsprechend, zu einem seitlich symmetrischen geworden.

An Laubhölzern läßt sich die gleiche Erscheinung, nur meistens weniger deutlich beobachten. Wir wollen aber hier einen anderen Versuch durchführen.

215. Vers. Beobachten wir im Frühjahre das Austreiben irgendeines Laubbaumes, so finden wir, daß nur ein kleiner Teil der Knospen, hauptsächlich die an den Zweigenden gelegenen, zur Entfaltung kommt, während sich die große Mehrzahl der Knospen nicht entwickelt. Brechen wir aber sämtliche treibende Knospen eines Zweiges aus, so erfolgt bald ein Schwellen und eine Entfaltung jener Knospen, die beim unverletzten Zweige zur Untätigkeit verurteilt sind.

216. Vers. Wir beschneiden ein Bäumchen derart, daß am Stamme überhaupt keine Knospen mehr sichtbar sind, oder beobachten einen Baum, dessen Krone einem Sturm zum Opfer fiel. Nach einigen Wochen durchbrechen zahlreiche Knospen die Rinde, vorzüglich an der Stammbasis. Die Knospen, die jetzt zur Entwicklung kommen, wurden vor Jahren ganz normal in den Achseln der Blätter angelegt. Ohne aber zur Entfaltung zu kommen, bleiben sie durch Jahrzehnte unter der Rinde verborgen, um im Bedarfsfalle auszutreiben. Sie führen den sehr bezeichnenden Namen „schlafende Augen“.

Die Holzgewächse legen also zahlreiche Knospen in Reserve an, die nur im Falle des Bedarfes, wenn die Zweige durch Windbruch geknickt oder die Knospen durch Insekten zerstört sind, als Ersatz herangezogen werden.

Beobachten wir endlich einen gefällten Baum, so sehen wir nicht selten an dem stehen gebliebenen Stummel zahllose junge Zweige emporschießen, den sogenannten Stockausschlag, welche im Umkreise des Stammes zur Entwicklung gelangten. Die Knospen, welchen diese Zweige ihren Ursprung verdanken, waren aber keineswegs schon vorgebildet, was schon aus ihrer großen Zahl hervorgeht. Die normalen Knospen werden nämlich immer in den Achseln der Laubblätter angelegt und zeigen daher wie diese eine bestimmte gesetzmäßige Anordnung. Regellos auftretende Knospen werden als „adventive" bezeichnet.

217. Vers. Wir übersetzen eine kräftige Pflanze von *Taraxacum* in einen Topf und schneiden, wenn die Pflanze sich gut bewurzelt hat, die ganze Blattrosette knapp über dem Boden ab, so daß nur die kräftige Pfahlwurzel mit ihren Verzweigungen zurückbleibt. Auf den Topf wird eine Glasplatte gelegt, um das Austrocknen der Erde zu verhindern. Nach einigen Wochen sehen wir neue Knospen zur Entwicklung gelangen (Adventivknospen), welche sich bald entfalten und die verloren gegangene Blattrosette ergänzen.

Es kann also unter Umständen eine Wurzel allein sämtliche ihr fehlenden Organe neu bilden.

218. Vers. Kartoffelknollen werden in kleine Töpfe gesetzt und bei Lichtabschluß kultiviert. Die Bildung junger Knollen, die normal an unterirdischen Ausläufern erfolgt, wird infolge des beschränkten Raumes mehr oder minder vollkommen gehemmt. Als Ersatz entstehen zumeist kleine Kartoffelknöllchen an Stelle von Achselknospen oberirdischer Triebe. Die Achselknospen, welche normal der Verzweigung des Stammes gedient hätten, haben durch Unterdrückung der unterirdischen Knollenbildung die Aufgabe von Reservestoffbehältern übernommen (Funktionswechsel).

Fassen wir die Ergebnisse der Versuche 211—218 zusammen, so überrascht es uns zunächst, in welch' erstaunlich hohem Maße der Pflanze die Fähigkeit innewohnt, für verloren gegangene oder verletzte Teile Ersatz zu schaffen. Im einzelnen herrscht dabei eine große Mannigfaltigkeit. Es entfalten sich neue Glieder des Pflanzenkörpers, die bei ausbleibender Verletzung nicht zur Entwicklung gekommen wären, oder es ändert sich den neugeschaffenen Bedürfnissen entsprechend Richtung, Gestalt und Funktion bereits angelegter Organe. In anderen Fällen werden wieder Organe neu gebildet (Adventivknospen) oder die verloren gegangenen Teile regeneriert (Wurzelspitze). Es wird eben das Ziel hier wie bei allen Lebenserscheinungen

auf verschiedenem Wege erreicht, weshalb jede Verallgemeinerung einzelner biologischer Beobachtungen größte und strengste Kritik erfordert.

Bekanntlich können auch Tiere, namentlich auf niederer Entwicklungsstufe, verletzte Teile wieder ersetzen — so wachsen zum Beispiel Krebsen die im Kampfe verlorenen Scheren wieder nach — doch stehen wenigstens die höheren Tiere den Pflanzen in dieser Beziehung weit nach. Jedenfalls erscheint diese Fähigkeit der Pflanzen, welche wegen mangelnder Bewegungsfreiheit und infolge der reichen Entfaltung ihrer Ernährungsorgane mechanischen Verletzungen in viel höherem Grade als die Tiere ausgesetzt sind, im höchsten Maße zweckmäßig und für ihr Gedeihen geradezu unbedingt erforderlich.

Indem wir aber die Folgen mechanischer Eingriffe untersuchen, machen wir noch eine andere Erfahrung von weittragender Bedeutung. Es drängt sich zunächst die Frage auf: Warum ändert sich Gestalt und Funktion eines Organs erst dann, wenn die normale Entwicklung gestört ist? Oder um ein bestimmtes Beispiel anzuführen: Warum entwickelt eine Kartoffel unter normalen Wachstumsbedingungen nicht ebenso oberirdische Knollen wie nach Unterdrückung der unterirdischen Knollenbildung? Aus welchem Grunde tritt die Fähigkeit zur Umwandlung der Achselknospen in Reservestoffbehälter unter normalen Bedingungen zurück?

Nach unserer derzeitigen geringen Einsicht können wir nur in den wenigsten Fällen eine befriedigende Antwort auf diese Frage geben. Das eine aber ist klar: Wenn die Entfernung oder Unterdrückung eines Organs einen Wechsel in der Gestalt oder Funktion eines anderen zur Folge hat, welches dadurch befähigt wird, das erstere zu ersetzen, so muß offenbar ein gewisser Zusammenhang, eine bestimmte Beziehung zwischen beiden angenommen werden, welche nicht erst durch den mechanischen Eingriff hergestellt wurde.

Wenn das Abschneiden eines Endtriebes einer Fichte die Aufrichtung eines Seitenzweiges zur Folge hat, so besteht umgekehrt auch ein Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein des Haupttriebes und der normalen Entwicklung des Seitenzweiges in horizontaler Richtung. Ähnliche Überlegungen lassen auch die anderen Experimente zu.

Korrelation.

Daraus geht aber hervor, daß die einzelnen Glieder einer Pflanze zueinander in einer gegenseitigen und sehr verwickelten Abhängigkeit, in einem Korrelationsverhältnisse stehen. Derartigen Korrelationen begegnen wir auf Schritt und Tritt. Wenn oben (S. 168) gesagt wurde, daß die Größe der Zellen unter anderem durch ihren gesetzmäßigen Zusammenhang mit den übrigen Zellen eines Organs bedingt wird, so lernten wir damit bereits einen Fall von Korrelation kennen. Die Erscheinungen des Stoffwechsels wie überhaupt jede Lebensäußerung

ist in gleicher Weise „korrelativ“ mit anderen Lebenserscheinungen verknüpft (vgl. Korrelative Transpiration S. 64).

Erst die Erkenntnis vielverzweigter und komplizierter Beziehungen der Pflanzenteile zueinander machte das Zusammenwirken einzelner Organe zu einem einheitlich harmonisch geregelten Ganzen verständlich, in dem jedes Glied eine bestimmte Rolle zum Wohle der Gesamtheit spielt.

Je weiter die Arbeitsteilung zwischen den Gliedern eines Organismus vorgeschritten ist, mit anderen Worten, je zahlreicher und verschiedenartiger diese sind, desto komplizierter wird das Lebensgetriebe, desto mannigfaltiger sind die Korrelationen, die wir zu erwarten haben.

Wenn wir somit in der Korrelation ein Lebensprinzip von allgemeinster Gültigkeit erkennen, so müssen wir uns doch stets darüber klar sein, daß wir damit nur einen Ausdruck für eine Gesetzmäßigkeit, keine ursächliche Erklärung derselben gewonnen haben, ebenso wie uns der Anblick eines auf hoher See manövrierenden Kriegsdampfers nur sagt, daß alle Mann an Bord unter einheitlicher Leitung stehen und jederzeit unter veränderten Bedingungen zweckmäßig zusammenarbeiten, ohne daß wir wüßten, worin die Aufgabe des einzelnen und das wechselnde Ineinandergreifen der Arbeiten bestünde.

Ruheperiode.

Schon eine oberflächliche Beobachtung der jährlichen Entwicklung der Vegetation zeigt, daß das Wachstum einer Pflanze keineswegs gleichmäßig fortschreitet. Wir erkennen — besonders deutlich an unseren Holzgewächsen — wie eine Zeit lebhaften Wachstums, die zumeist in die Frühjahrs- und Sommermonate fällt, von einer Periode des Wachstumsstillstandes abgelöst wird. Ehe wir die Ursachen dieser Periodizität der Entwicklung zu ermitteln versuchen, wollen wir wenigstens an einem Beispiele die Entwicklung eines Triebes von der Entfaltung der Knospe an untersuchen.

219. Vers. Wir durchschneiden im Winter oder ersten Frühjahre eine möglichst große Endknospe einer Roßkastanie durch einen scharfen, von der Basis gegen die Spitze hin geführten Längsschnitt. Schon mit freiem Auge erkennt man eine größere Anzahl von Blättchen, welche eng aneinander geschmiegt und dicht gefaltet die Knospe erfüllen. Zwischen ihnen erblickt man, wenngleich in winzigen Dimensionen, die Anlage des ganzen Blütenstandes.

Stelle bei Zimmertemperatur einen derartigen Zweig in ein Glas Wasser und beobachte das Schwellen und die Entwicklung der Knospen. (Das Wasser muß zeitweise gewechselt und die Schnittfläche erneuert werden, da sonst die Enden der Gefäße durch Bakterien verstopft werden.)

Mit einem sichtlichen Anschwellen der Knospen setzt ihre Entfaltung im Frühjahre ein; bald weichen die Knospendecken,

wie die braunen schuppenförmigen Hüllen bezeichnet werden, auseinander und in einem Zeitraume von wenigen Tagen drängen sich auch schon die jungen Blätter hervor, die nun deutlich lebhaft heranwachsen; in kurzer Zeit sehen wir auch bereits den Blütenstand sich über die Blätter erheben. Alle Teile wachsen nun bis zur endgültigen Größe heran, ohne daß sich mehr neue Blätter bilden würden. Ist die Blütezeit vorbei, so ist auch schon die Längenentwicklung des Zweiges erloschen. Das Wachstum eines derartigen Blütenzweiges beschränkt sich also auf die Streckung und Vergrößerung der bereits in der Knospe angelegten Teile, der „embryonalen Anlage".

Eine derartige Entwicklung, wie wir sie zum Beispiel auch bei den Laubtrieben der Buche vorfinden, ist aber keineswegs immer, nicht einmal in der Regel anzutreffen. Zumeist schreitet das Wachstum viel weiter fort; es entwickeln sich nicht bloß die in der Knospe bereits vorhandenen Organe, es werden vielmehr, solange das Wachstum anhält, immer neue Blätter angelegt, bis endlich eine Zeit eintritt, wo die Stengelglieder sich nicht mehr strecken, die Blattanlagen sich nicht mehr entfalten — es wird eine neue Knospe (Winterknospe) mit ihren schützenden Hüllen gebildet. So endet das Wachstum der Zweige bei manchen Pflanzen schon im frühen Sommer, während es in anderen Fällen bis weit in den Spätherbst hin fortschreitet, um einer Periode der Wachstumsruhe Platz zu machen (s. Aufg. 7).

Wodurch wird nun der Eintritt dieser Ruheperiode bedingt? Wir wollen zunächst untersuchen, ob wir diesen Zeitpunkt durch Änderung der äußeren Bedingungen verschieben können, ob er also von solchen abhängig ist.

220. Vers. Ein Fliederzweig wird im Juni, nachdem sich eben die Knospen zu schließen beginnen, völlig entlaubt. Wir konstatieren nach einigen Wochen, daß der Zweig neuerlich sein Wachstum aufgenommen hat: an Stelle der Knospe sind neue Blätter und Internodien entstanden.

Es muß demnach eine Beziehung zwischen der Anzahl der Blätter und der Bildung der Knospe bestehen. Man hat auch auf Grund derartiger Versuche und im Hinblick darauf, daß ein Gleichgewichtsverhältnis zwischen der Menge des aufgenommenen und des durch Transpiration abgegebenen Wassers bestehen muß, die Vermutung ausgesprochen, daß eine gewisse Anzahl von Blättern alles vorhandene Wasser für sich in Anspruch nimmt und das Einstellen der Weiterentwicklung, das heißt die Knospenbildung, auf mangelnden Wasserzufluß zurückzuführen ist (Wiesner, vgl. S. 50). Trotzdem wäre es verfehlt, den Eintritt der Ruheperiode ausschließlich auf äußere Verhältnisse zurückführen zu wollen.

221. Vers. Wir wiederholen den vorigen Versuch Ende Juli oder Anfang August. Der Erfolg ist jetzt ein ganz anderer. Die

Knospe bleibt jetzt dauernd geschlossen, obwohl dieselben Versuchsbedingungen wie im vorigen Versuche hergestellt wurden.

Die anfänglich durch Änderung der äußeren Bedingungen aufzuhebende Ruhe ist jetzt zu einer spontanen, das heißt ausschließlich von den Eigentümlichkeiten des lebenden Protoplasmas abhängigen Erscheinung geworden („innere Ruhe", Johannsen). Man wird vermuten, daß nun diese Ruhe bis zum kommenden Frühjahre anhält. Aber auch in diesem Falle würde uns das Experiment eines Besseren belehren.

222. Vers. Schneide im Winter Fliederzweige ab und stelle sie in einem Glase Wasser im Zimmer auf; sie beginnen nach einigen Wochen auszutreiben. Ihre Ruhe ist demnach um diese Zeit bereits vorüber. Daß ihre Knospen sich im Freien nicht entfalteten, ist offenbar nur auf die zum Wachstume ungeeignete niedrige Temperatur zurückzuführen („gezwungene Unwirksamkeit" nach Johannsen).

Aber auch die „innere" Ruhe läßt sich durch geeignete Mittel abkürzen, worauf das in der Praxis des Gartenbaues so wichtige „Frühtreiben" beruht.

223. Vers. 1. Zweige von Flieder, Roßkastanie etc. werden (anfangs November oder Dezember) abgeschnitten und in einen hohen, gut verschließbaren Präparatenzylinder gebracht, dessen Volumen man vorerst in der Weise bestimmt, daß man die Wassermenge, welche er faßt, abmißt. In den Zylinder bringt man eine kleine Menge Äther auf einen Filterpapierbauschen (nicht direkt auf die Zweige!), am besten 0·5—0·6 cm^3 pro Liter Fassungsraum. Nach längstens 48 Stunden werden die Zweige herausgenommen, tüchtig abgewaschen, mit dem unteren Ende in ein Glas Wasser gesteckt und im Zimmer aufgestellt. Parallelversuch mit gleichen Zweigen ohne Ätherbehandlung!

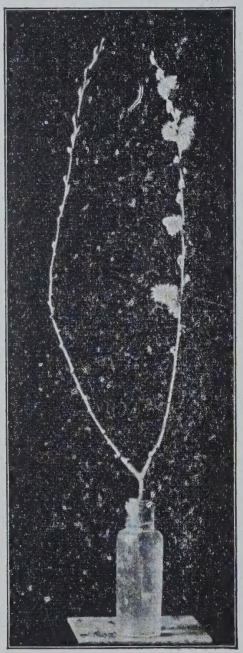


Fig. 51a.

2. (Nach Molisch.) Von einem im November abgeschnittenen Gabelzweig der Sahlweide (Fig. 51a) wird der eine Ast 12 Stunden in Wasser von 35° C untergetaucht gehalten (im Wärmeschrank, S. 248), sodann der Zweig im Zimmer wie im vorigen Vers. aufgestellt. Die vorbehandelten Zweige treiben viel früher aus. Beide Methoden werden in der gärtnerischen Praxis ausgeübt.

Eine Abkürzung der Ruhe kann auch durch andere Mittel bewirkt werden, zum Beispiel durch niedere Temperaturen oder

durch abnorme Trockenheit: Die Treiberei von Maiglöckchen beruht darauf, daß die Wurzelstöcke über Sommer in Kühlräumen aufbewahrt werden. — In milden Herbsten treiben in relativ trockenem Grunde stehende Kastanien oft neu aus.

Einer solchen Ruheperiode begegnen wir übrigens nicht bloß in der periodischen Entwicklung unserer Holzgewächse, wir treffen sie auch bald mehr, bald weniger deutlich ausgeprägt bei Zwiebeln, Knollen und Samen. Abgeblühte Schneeglöckchen, Hyazinthen usw., frisch aus dem Boden genommene Zwiebeln oder Kartoffeln sind auch unter den günstigsten Umständen nicht sofort wieder zum Austreiben zu veranlassen. Wochen und Monate hält dieser Zustand an, bis sie — oft ohne weiteres Zutun — „freiwillig" zu treiben beginnen. (Austreiben der Kartoffeln im Keller.)

Auch die Samen, namentlich solche einjähriger oder annueller Pflanzen, d. h. solcher, welche in einem Jahre keimen und fruchten, unterliegen einer lange andauernden Ruheperiode. Samen von *Draba verna* keimen erst 10—11 Monate nach ihrer Reife. Hingegen lassen die Samen anderer krautiger Pflanzen, wie *Senecio vulgaris*, eine Ruheperiode völlig vermissen. Der gereifte Same wird sofort zum Ausgangspunkte einer neuen Generation, die noch im selben Jahre blüht und fruchtet. (Ephemere Pflanzen, Wiesner.)

Bedingungen des Wachstums:

Wie wir bereits bei der Entwicklung der Samen gefunden haben (S. 126), wird das Wachstum durch die Temperatur wesentlich beeinflußt. Ein einfacher Versuch soll uns genaueren Aufschluß geben.

Temperatur.

224. Vers. Wir beschicken Töpfe mit annähernd gleich langen Keimlingen von Bohnen oder von Kürbissen, markieren deren Länge (s. Vers. 201) und setzen nun die Pflanzen verschieden hohen Temperaturen aus, etwa im Eisschrank, im Freien, im geheizten Zimmer und im Wärmeschrank (s. Anhang). Um wechselnde Beleuchtung zu vermeiden, kultivieren wir alle bei Lichtabschluß. Am folgenden Tage wird der Zuwachs in allen Fällen gemessen (ausgedrückt in Prozenten der Gesamtlänge). Bei einer bestimmten Temperatur (Optimum) wird der Zuwachs am größten sein, während das Wachstum bei höherer und niedrigerer Temperatur gehemmt wird, bis es bei einem Maximum und Minimum der Temperatur in gleicher Weise völlig stillsteht. Diese für jede Pflanze charakteristischen Temperaturgrade werden als Kardinalpunkte der Temperatur bezeichnet (s. S. 74). Eine für jede Pflanze bestimmte Temperatur, welche nur innerhalb gewisser Grenzen schwanken darf, ist demnach eine der zum Wachstume unerläßlichen Bedingungen.

Wir werden sofort noch einige andere Wachstumsbedingungen kennen lernen.

225. Vers. Man mißt die Länge eines im Wachstume begriffenen Internodiums einer Pflanze, etwa einer Bohne, läßt sie darauf welken und bestimmt nach 1—2 Tagen den Zuwachs. Parallelversuch mit einer nicht verwelkten Bohne. Die erstere wird nicht oder kaum gewachsen sein

Wasser.

Zum Wachstume ist demnach auch der Turgor, mithin die Aufnahme von Wasser unbedingt erforderlich. (Vgl. S. 27.)

Man trifft derzeit häufig Pflanzen im Handel, z. B. *Sauromatum*, welche „ohne Wasser und Erde“ wachsen und blühen. Hier ist das erforderliche Wasser im Knollen als „Reservestoff“ vorhanden. (Vgl. Vers. 154, 3.)

226. Vers. Ein etwa 4 *cm* langer, also im starken Wachstum befindlicher Bohnenkeimling wird an der Wurzel abgeschnitten, seine Länge gemessen und hierauf mittelst Draht so auf einem in eine weithalsige Flasche passenden Kork befestigt, daß er, wenn die Flasche umgekehrt wird, aufrecht in das Innere derselben hineinragt. Die Flasche wird sodann mit Wasser gefüllt und dieses so wie im Vers. 186 durch Wasserstoff nahezu ganz verdrängt. Wird der die Pflanze tragende Stöpsel nun unter Wasser eingeführt, so soll so viel Wasser in der Flasche verbleiben, daß die Basis des Keimlings in dasselbe eintaucht. Die Vorrichtung wird sodann verdunkelt und die Länge des Keimlings am folgenden Tage gemessen. Er wird keinen Zuwachs aufweisen, während er im Parallelversuch in normaler Atmosphäre beträchtlich gewachsen ist.

Sauerstoff.

Aus diesen und ähnlichen Versuchen geht hervor, daß zum Wachstume Sauerstoff erforderlich ist

Ein geradezu selbstverständliches Erfordernis zum Wachstume ist natürlich auch das Vorhandensein von „Baustoffen“, die zur Vergrößerung eines Organs herangezogen werden müssen (s. S. 125). Da diese von der grünen Pflanze nur im Lichte gebildet werden können, so ist dauerndes Wachstum nur im Lichte denkbar.

Formveränderung durch Licht:

Trotzdem kann das Licht nicht als notwendige Bedingung des Wachstums bezeichnet werden, da — sobald nur Assimilate vorhanden sind — Wachstum auch im Dunkeln vor sich geht. Nichtsdestoweniger ist gerade sein Einfluß auf das Wachstum und auf die Gestaltungsverhältnisse der Organe, die Formbildung, ein besonders auffälliger.

Etiolement.

227. Vers Wir kultivieren Keimlinge (*Phaseolus*) oder austreibende Knollen (Kartoffel, Georgine) bei annähernd gleicher Temperatur und Feuchtigkeit im Lichte und Dunkeln. Die Dunkelpflanzen, welche infolge Chlorophyllmangels blassgelb erscheinen, haben, wie man schon ohne Messung erkennen kann, bedeutend längere Stengel, aber kleinere Blätter. Man bezeichnet diese Erscheinung als Etiolement oder Vergeilung. Sie tritt, wenngleich weniger ausgesprochen, schon in einer dunklen Zimmerecke, also

in geschwächtem, nicht ausschließlich bei völlig fehlendem Lichte auf. (Daß diese Erscheinung auf mangelndem Lichte, nicht auf gehemmter Kohlensäureassimilation beruht, geht schon aus Vers. 117 hervor.) Durch Licht wird also die Wachstumsintensität des Stengels herabgesetzt.

Die Bedeutung des Etiolements scheint — wenigstens für die grüne Pflanze — darin zu liegen, daß sie durch Streckung ihrer Internodien auf Kosten der im Dunkeln ohnehin wertlosen Assimilationsorgane, der Blätter, befähigt ist, unter möglichst geringem Materialverbrauche rasch aus dem Schattenbereiche ans Licht zu gelangen. Demzufolge wird man auch im Freien, namentlich bei tief wurzelnden oder von einer dichten Laubschicht bedeckten Pflanzen die unteren Stengelglieder ganz regelmäßig etioliert finden.

228. Vers. Keimlinge von *Zea* werden im Lichte und im Dunkeln kultiviert und nach einigen Wochen miteinander verglichen. Die Dunkelkeimlinge übertreffen die Lichtpflanzen an Blattlänge.

Der Lichteinfluß äußert sich also keineswegs immer gleichartig. Das Längenwachstum der Blätter von *Zea* und anderen Monokotylen wird durch Lichtabschluß beschleunigt, während die meisten Dikotylenblätter im Dunkeln verkümmern.

Blattgröße. Mit steigender Beleuchtung nimmt natürlich die Größe der letztgenannten Blätter bis zu einer bestimmten Grenze zu. Eine darüber hinausgehende Steigerung der Lichtstärke kommt jedoch in einer neuerlichen Abnahme der Blattgröße zum Ausdrucke. Wir finden daher die Schattenblätter unserer Holzgewächse (Buche, Hollunder, Eiche etc.) durch beträchtlichere Größe vor den Sonnenblättern ausgezeichnet, während diese die ersteren an Dicke und Derbheit bedeutend übertreffen. Diese Unterschiede zwischen Sonnen- und Schattenblättern, welche sich in ihrer Lage (s. S. 86) und ihrem anatomischen Baue noch auffallender ausprägen, hat man erst in neuester Zeit als zweckmäßigste Anpassungen an die verschiedenen Beleuchtungsverhältnisse verstehen gelernt. Wie sich herausstellte, vermögen die Sonnenblätter im Sonnenlichte (genauer im gesamten Tageslichte) viel stärker zu assimilieren, das heißt viel mehr organische Substanz zu bilden (vgl. Vers. 119) als die Schattenblätter bei derselben Beleuchtung, vermögen also unter diesen Bedingungen viel mehr zu leisten. Im starken diffusen Lichte (Schatten) hingegen assimilieren beide annähernd gleich viel. Die mit bedeutend weniger Materialaufwand gebauten Schattenblätter reichen also vollständig hin, das schwache Licht vollkommen auszunützen (Hesselmann).

Anisophyllie. Nicht selten kann man an Seitenzweigen von Holzgewächsen mit großen gegenständigen Blättern (*Aesculus*, *Acer platanoides*) beobachten, daß die auf der Außen-(Unter-)seite stehenden Blätter beträchtlich größer sind als die der Gegenseite. In vielen

Fällen konnte durch entsprechende Versuche gezeigt werden, daß diese Ungleichblättrigkeit gleich alter Blätter (Anisophyllie nach Wiesner) wesentlich durch die günstigeren Beleuchtungsverhältnisse der „äußeren“ Blätter bedingt wird. Daß das Licht auch indirekt durch Steigerung der Transpiration der besser beleuchteten Blätter eine ungleiche Ausbildung derselben fördern kann, wurde schon bei einer früheren Gelegenheit gezeigt (vgl. S. 64).

Indessen können wir heute keineswegs alle Fälle von Anisophyllie ausschließlich auf eine ungleichmäßige Beleuchtung gegenüberstehender Blätter zurückführen.

229. Vers. Das Ende eines jungen, im Wachstume befindlichen Seitenzweiges von *Acer platanoides* wird in ein Kistchen eingeführt, dessen übergreifender Deckel entsprechend durchbohrt wurde, und dieses in passender Höhe an einer in den Boden eingerammten Stange befestigt. Die Öffnung wird sodann durch einen der Länge nach halbierten Kork verschlossen und etwaige Fugen mit Watte verstopft, so daß der Zweig bei Lichtabschluß zur Entwicklung kommt. Nach einigen Wochen wird der Deckel zur Untersuchung des Zweiges abgenommen. Obgleich das Licht seinen Einfluß nicht geltend machen konnte, sind die äußeren (unteren) Blätter größer geworden als die entsprechenden inneren (Wiesner, Figdor). Anisophyllie kann sich also auch unabhängig vom Lichte (und, wie eingehende Versuche zeigten, von anderen äußeren Einflüssen) einstellen.

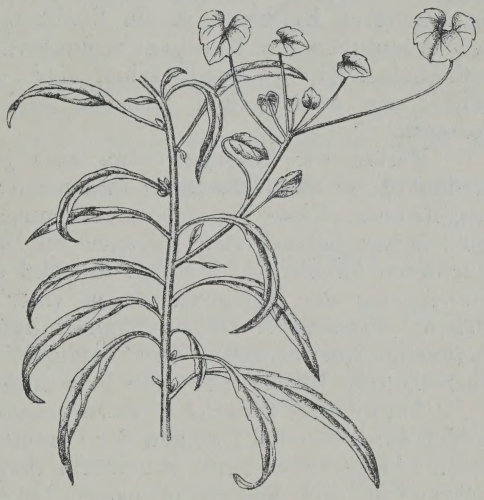


Fig. 52 (nach Goebel).

Blattgestalt.

Die Wirkung des Lichtes kann sich übrigens nicht allein in einer Beeinflussung des Wachstums und der Größe eines Organs, sondern vielfach auch in einer weitgehenden Veränderung seiner Form (sowie seines anatomischen Baues) äußern. Es sei hier ein besonders lehrreicher Versuch eingeschaltet, den Goebel an *Campanula rotundifolia* durchführte.

Diese besitzt Blätter von zweierlei Art: eine Blattrosette bildende, gestielte Blätter von rundlich herzförmigem Umriß und

lanzettliche, kurz gestielte Blätter, welche an den zur Blüte gelangenden Trieben zur Entwicklung kommen. Wurde ein derartiger Zweig verdunkelt, so unterblieb die Bildung von Blüten. An ihrer Stelle entwickelten sich aus den Blattachseln Seitentriebe, welche, wie Fig. 52 zeigt, neuerlich Rosettenblätter der ersterwähnten Form hervorbrachten. Die Blattform dieser Pflanze wird also wesentlich durch die Lichtstärke bestimmt. Dementsprechend unterbleibt die Bildung der lanzettlichen Blätter vollständig, wenn eine junge Pflanze dauernd in tiefem Schatten kultiviert wird.

Verzweigung.

Auch die Entwicklung der Knospen, das Knospentreiben, mancher unserer Holzgewächse steht in einer gewissen Abhängigkeit von der Beleuchtung. Jost berichtet über folgenden instruktiven Versuch.

230. Vers. Die Enden einiger Zweige von *Fagus silvatica* werden durch Einführen in ein Kistchen (s. vorigen Vers.) vor dem Austreiben der Knospen verdunkelt. Wenn die am Lichte befindlichen Zweige ausgetrieben sind, wird das Kistchen geöffnet; die verdunkelten Knospen sind nicht zur Entfaltung gelangt.

Hätten wir hingegen etwa eine junge Buche vollständig verdunkelt, so wären sämtliche Endknospen ebenso wie im Lichte ausgetrieben. Unser Versuch zeigt demnach, daß durch Entfaltung der stärker beleuchteten Knospen die weniger oder nicht beleuchteten unterdrückt werden. Es muß demnach auch die Verzweigung der Holzgewächse in einer Beziehung zum Lichte stehen. Tatsächlich ist sie zumeist auf der Lichtseite so sehr begünstigt (phototrophe Verzweigung, Wiesner), daß teilweise überschattete Bäume nur eine halbseitige Laubkrone ausbilden.

Auf dieselbe Ursache ist es zurückzuführen, daß die Knospen an den aufstrebenden Zweigen der Pyramidenpappeln sich nur auf deren Außen-(Unter-)seite entwickeln (hypotrophe Verzweigung), während sie sich bei den oft nahezu horizontal gerichteten Ästen von *Elaeagnus*, *Tamarix* etc. nur auf deren Oberseite entfalten (epitrophe Verzweigung nach Wiesner).

Ob und welche Knospen zur Entwicklung kommen, hängt natürlich zum großen Teil vom Lichtbedürfnisse des Baumes ab. Ist die Lichtstärke auf der beschatteten Seite geringer als die Pflanze zu ihrem Gedeihen mindestens erfordert, so ist eine Entwicklung natürlich ausgeschlossen.

Lichtgenuß.

Das Lichtbedürfnis der Pflanzen läßt sich nach den Untersuchungen Wiesners aus ihrem Lichtgenusse beurteilen, das heißt aus derjenigen Lichtstärke, in welcher die Pflanze auf ihrem natürlichen Standorte gedeiht. Bestimmt man also nach der auf S. 85 angeführten Methode die Lichtintensitäten auf einer Reihe von Standorten derselben Pflanze, so gibt uns die höchste und die niedrigste der gefundenen Werte das Maximum,

bezw. das Minimum des Lichtgenusses an. Bei Holzgewächsen werden diese beiden Grenzen in der Weise ermittelt, daß man am horizontal gehaltenen Insolator die Lichtstärke an der Peripherie der Krone und im Innern des Laubwerkes bestimmt, und zwar hier an einer Stelle, wo — infolge zu geringer Lichtintensität — keine Knospen mehr zur Entwicklung kommen konnten, also etwa an der Stelle, wo die letzten Blätter stehen. Um vergleichbare Werte zu erlangen, drücken wir die gefundenen Lichtstärken in Bruchteilen des gesammten Tageslichtes aus (relativer Lichtgenuß).

Um den relativen Lichtgenuß eines Baumes, etwa einer Buche, zu bestimmen, gehen wir also in folgender Weise vor.

231. Vers. Ein Streifen photographischen Papiers wird im horizontal gehaltenen Insolator auf einer möglichst freien Fläche (Wiese, Feld), so lange exponiert, bis der gewählte Farbenton erreicht ist, wozu beispielsweise bei der Lichtstärke i 3 Sekunden erforderlich sind. Unmittelbar darauf wird ein neuer Papierstreifen im Innern der Baumkrone belichtet. Es wären jetzt etwa 180 Sekunden erforderlich, um bei der hier herrschenden Intensität i^1 denselben Farbenton zu erzielen. Daraus ergibt sich $i^1 : i = 3 : 180 = 1 : 60$; $i^1 = \frac{1}{60} i$, das heißt in der Baumkrone herrscht $^1/_{60}$ des Gesamtlichtes.

In mancher Beziehung ähnlich wie Dunkelheit wirkt die Luftfeuchtigkeit auf die Pflanze ein.

Formveränderung durch Luftfeuchtigkeit.

232. Vers. Wir kultivieren eine junge Pflanze mit Rosettenblättern, *Capsella bursa pastoris* oder *Sempervivum tectorum*, im absolut feuchten Raume (vgl. Vers. 81). Während die unter gewöhnlichen Bedingungen auftretenden Blattrosetten dadurch zustande kommen, daß die Stengelglieder sehr kurz (gestaucht) bleiben, beginnen sich jetzt unter dem Einflusse der Luftfeuchtigkeit die Internodien lebhaft zu strecken, die Blätter rücken daher auseinander, die Rosette wird aufgelöst. (Wiesner.)

233. Vers. Junge Pflänzchen von *Taraxacum* werden eingetopft und zur weiteren Kultur in einen absolut feuchten Raum gebracht. (Parallelversuch!) Die Blätter wachsen nun enorm heran und können die Länge von etwa $^1/_2$ *m* erreichen. (Wiesner.)

Aus den beiden Versuchen, die übrigens durchaus keine Verallgemeinerung zulassen, ist jedoch keineswegs zu folgern, daß die mit Wasserdampf gesättigte Atmosphäre der Pflanzenentwicklung besonders förderlich wäre, da sie das Wachstum stark begünstigt. Auch der Lichtentzug bewirkt ja, wie wir gesehen haben, eine Beschleunigung des Wachstums, während für die Existenz der Pflanze gerade das das Wachstum hemmende Licht von maßgebender Bedeutung ist. Ausschlaggebend für die Entwicklung eines Organismus ist offenbar nicht das auf experi-

mentellem Wege ermittelte absolute Optimum, d. h. die höchste Steigerung eines Lebensvorganges, vielmehr dessen günstigste Intensität oder, wie man sie nannte, das harmonische Optimum. (Schimper.)

Unsere Versuche über die Beeinflussung des Wachstums und der Form eines Organs durch Änderung der äußeren, auf die Pflanze einwirkenden Bedingungen, von denen hier natürlich nur einige der wichtigsten besprochen werden konnten, haben uns zu einer wichtigen Erkenntnis geführt. Die Form der Organe einer Pflanze kann durch äußere Umstände in mehr oder minder hohem Maße beeinflußt werden. Oft kann die Änderung so weit gehen, daß ein Organ selbst eine völlig abweichende Gestalt annimmt, wie es bei den als Gallen bekannten, oft ganz absonderlichen Veränderungen von Knospen und Blättern der Fall ist, welche durch den Stich gewisser Insekten hervorgerufen werden. Die unter dem Einflusse äußerer Bedingungen auftretenden Formänderungen — wie die Ausbildung von Sonnen- und Schattenblättern (s. S. 87) — erscheinen uns häufig als zweckmäßig; wir sagen, das Organ habe sich den geänderten Verhältnissen angepaßt. Immer sind es aber nur bestimmte Eigentümlichkeiten, welche einer derartigen Anpassung unterliegen (Anpassungsmerkmale nach Nägeli), während wir andere, vor allem die charakteristischen Merkmale der Blüte, nach denen wir hauptsächlich die Zugehörigkeit einer Pflanze zu einer bestimmten Gattung oder Familie beurteilen (Organisationsmerkmale nach Nägeli), kaum wesentlich beeinflussen können. Soweit sich also die Gestalt einer Pflanze durch Anpassung zu verändern mag, nie geht die Änderung so weit, daß wir eine Pflanze während ihrer Entwicklung durch Änderung äußerer Bedingungen in eine andere Art — und wäre sie noch so nahe verwandt — überführen könnten.

Aufgaben.

1. Bestimme die Wachstumsgeschwindigkeit eines am Lichte stehenden grünen und eines gleich alten verdunkelten, etiolierten Keimlings von *Phaseolus*. (Vgl. Vers. 203.)

2. Ermittle bei beiden Keimlingen die Länge der Wachstumszone und berechne (für ein bestimmtes Entwicklungsstadium) die Wachstumsenergie. (Vgl. Vers. 203.)

3. Markiere junge Knospen von *Lilium candidum* oder Tulpen und suche die Stelle des größten Zuwachses auf. (Vgl. Vers. 203.)

4. Untersuche, ob die mit Knoten versehenen Stengel von Nelken ebenso wie die Grashalme eine interkalare Wachstumszone besitzen. (Vgl. Vers. 206.)

5. Bestimme die Größe der Verkürzung des in Vers. 209 abgelösten Rindenstückes und drücke sie in Prozenten der ursprünglichen Länge aus. Die gefundene Zahl gibt natürlich gleichzeitig die Größe der Gewebespannung an.

6. Wie ist es zu erklären, daß Stricke oder Eisenspangen, mit welchen ein Baum an seiner Stütze befestigt wird, in den Baum „einwachsen", wenn sie jahrelang nicht gelockert oder entfernt werden? (Vgl. 210 und 211.)

7. Beobachte bei verschiedenen Holzgewächsen, z. B. bei Gaisblatt, Buche, Flieder, beim wilden Wein u. a. den Beginn der Knospenentwicklung (das Aufbrechen der Knospen) und den Eintritt des Knospenschlusses. (Vgl. S. 175, 176.)

8. Warum vermag sich ein von Maikäfern kahl gefressener Eichenwald in Kürze wieder neu zu beblättern, während ein etwa im Hochsommer entblätterter Zweig blattlos bleibt? (Vgl. 220 und 221.)

9. Warum treiben sogenannte Barbarazweige im Zimmer eher aus, wenn dem Abschneiden eine Frostperiode vorausgegangen ist? (Vgl. S. 177.)

10. Worin äußert sich das Etiolement bei Keimlingen von *Tropaeolum?* Vgl. die Länge des Blattstiels und die Größe der Spreite bei Licht- und Dunkelpflanzen.

11. Kultiviere *Hyacinthus candicans* im Lichte und im Dunkeln. Worin bestehen die Unterschiede?

12. Ermittle die Unterschiede an Größe und (Luft-) Trockengewicht der Sonnen- und Schattenblätter von Buche, *Sambucus* u. a. (Vgl. Vers. 4.)

13. Warum ist nur das äußere und innere Blatt eines *Aesculus*-Zweiges anisophyll, während die Blätter der Seitenpaare gleich groß bleiben? (Vgl. S. 180.)

14. Vergleiche den relativen Lichtgenuß einer freistehenden Buche mit dem einer solchen im geschlossenen Walde.

15. Warum verschwinden die meisten Waldpflanzen, wenn der Wald geschlagen wird? Vergleiche das Maximum des Lichtgenusses einiger Waldpflanzen mit der Lichtstärke auf einem Waldschlage.

Bewegungsvermögen und Reizbarkeit.

Als Franz Unger, Professor der Botanik an der Grazer Universität und einer der genialsten Vertreter seines Faches, um die Mitte des verflossenen Jahrhundertes beobachtete, wie einem grünen Algenfaden Infusorien ähnliche, bewimperte Organismen entschlüpften, um sich im Wasser lebhaft herumzutummeln, schrieb er in glühender Begeisterung an seinen Freund und Kollegen Endlicher in Wien: „Ich bin ganz voll von Begeisterung über die wundersamen Dinge, die ich an *Ectosperma clavata* sah und die ich durch mannigfaltige Experimente erfuhr. Ein momentanes Tierwerden der Pflanze ist kein Zweifel mehr.“ Das Bewegungsvermögen dieser Gebilde erschien Unger als Kriterium für ihre tierische Natur. Tatsächlich sind wir durch die Betrachtung der höheren Pflanzen gewöhnt, sie als unbeweglich und an die Scholle gebunden zu betrachten, während die Tiere durch eine so auffällige und allgemein verbreitete Fähigkeit der Bewegung charakterisiert sind, daß wir beim Ausbleiben jeder Bewegung auf den Eintritt des Todes schließen. Dieser auffällige und — wie es bei oberflächlicher Betrachtung scheint — durchgreifende Unterschied steht offenbar in inniger Beziehung zur verschiedenen Art der Ernährung. Das Tier, unfähig, anorganische Stoffe als Nahrung zu verwerten, ist gezwungen, zu seinem Unterhalte Nahrung zu suchen, während der Pflanze die erforderlichen Nahrungsmittel von allen Seiten zufließen. Die Bewegung ermöglicht es dem Tiere, sich in der verschiedenartigsten Weise seiner Feinde zu erwehren; die Pflanze bedarf eines solchen Hilfsmittels nicht. Abgesehen von Stacheln, Gift- und Bitterstoffen, bildet schon die große Reproduktionsfähigkeit eine hinreichende Gewähr für ihre Existenz.

Eine genauere Überlegung lehrt, daß dieser Gegensatz im Bewegungsvermögen doch kein so scharfer ist, wie es ursprünglich schien. Denn auch die Pflanze hat zweifellos die Fähigkeit, die Lage ihrer Organe im Raume zu verändern, d. h. eben, sich zu bewegen. Wir wollen zunächst von einer jedermann bekannten Erscheinung ausgehen.

Geotropismus.

234. Vers. Ein im Dunkeln erwachsener, völlig gerader Keimling (über deren Anzucht vgl. Anhang) wird horizontal aufge-

stellt, am einfachsten in der Weise, daß man den Topf mit der Pflanze auf einen leeren Blumentopf legt. Am folgenden Tage hat sich der Keimling wieder vertikal aufgerichtet. Als Versuchspflanze dient: *Phaseolus*, *Helianthus*, *Vicia Faba* etc.

235. Vers. Mehrere Keimlinge von *Vicia Faba*, deren Wurzeln 1—2 *cm* lang und völlig gerade sind, werden wie im Vers. 207 aufgestellt, aber so auf den Kork gespießt, daß die Wurzeln genau horizontal stehen und die Schmalseiten der Samen dem Beschauer zugewendet sind (Fig. 53*). Wir beobachten am folgenden Tage eine Krümmung der Wurzeln nach unten.

So alt diese Beobachtungen sind, so spät wurde die Frage nach der Ursache der Krümmung aufgeworfen. Dadurch erst wurde die allbekannte Erscheinung zu einem wissenschaftlichen Problem erhoben, dessen Verfolgung wir eine ganze Kette wertvoller Aufschlüsse über das Lebensgetriebe der Pflanzen verdanken. Die wichtigste Frage, welche zu beantworten war, lautete: Ist die Veranlassung zur Krümmung in der Pflanze selbst gelegen oder wird die Bewegung durch eine äußere Ursache bewirkt? Auf welche physikalische Kraft ist sie in diesem Falle zurückzuführen? Es wurde eine Reihe von Theorien aufgestellt, bis es dem berühmten englischen Forscher Knight gelang (1806), durch ein geniales Experiment eine sichere Entscheidung zu treffen.

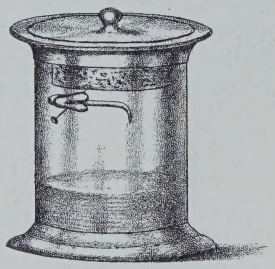


Fig. 53.

Er ging von folgender Erwägung aus: Wenn, wie von mancher Seite vermutet wurde, die Schwerkraft die Krümmung verursacht, so kann sie nur dann auf die Pflanze wirken, wenn diese „in derselben relativen Lage zur Richtung der Erdanziehung verbleibt". Mit anderen Worten: Beruht die Aufkrümmung auf einer Wirkung der Schwerkraft, so muß sich deren Einfluß auf der Ober- und Unterseite des Stengels verschieden äußern; jene krümmt sich konkav, diese konvex. Wird nun die Lage des Stengels kontinuierlich verändert, so daß alle seine Seiten allmählich nach oben und bei fortgesetzter Drehung nach unten kommen, so wird das Krümmungsbestreben nach allen Seiten hin ein gleichmäßiges sein, daher in keiner Bewegung zum Ausdruck kommen. Knight befestigte daher an den Schaufeln eines Wasserrades Keimlinge in den verschiedensten Richtungen. Infolge der Drehung des Rades wurde ihre Lage zur Schwerkraftrichtung beständig verändert. Es zeigte sich nun, daß alle Stengel zum Mittelpunkt des Rades hinwuchsen, während sich die Wurzeln in entgegengesetzter Richtung vom Mittelpunkt

*) Hier und in den folgenden Vers. ist der Vereinfachung der Figuren halber stets nur auf einen Keimling Bezug genommen.

entfernten. Es war klar, daß sie in der Richtung der Fliehkraft, die Stengel hingegen ihr entgegen gewachsen waren. Da mithin die Orientierung im Versuche zweifellos durch einen äußeren Anstoß bewirkt wurde, schloß Knight, daß auch unter normalen Verhältnissen „durch eine bestimmte äußere Ursache und nicht infolge einer inneren Eigenschaft des Organismus die Wurzeln nach unten und die Stengel nach obenzu wachsen". Da nun Fliehkraft und Schwerkraft, welche beide auf einer Massenanziehung beruhen, gegenseitig ersetzbar sind, zweifelte Knight nicht daran, daß die Krümmung horizontal gelegter Stengeln und Wurzeln „im wesentlichen, wenn nicht ausschließlich, durch die Schwerkraft bewirkt wird".

Wir wollen diesen Beweis mit Hilfe eines einfacheren Apparats, des Klinostaten, erbringen, den wir auch zu zahlreichen anderen Versuchen mit großem Vorteil benützen können. Dieser Apparat besteht im wesentlichen aus einem Uhrwerk, welches an Stelle der Zeiger eine verlängerte horizontale Achse trägt, an welcher die Pflanzen befestigt werden Die Umlaufzeit wird so langsam gewählt, daß sich eine Wirkung der Fliehkraft nicht äußert. Die Wirkungsweise des Klinostaten ist nach dem oben Gesagten leicht verständlich. Infolge der Drehung ist eine einseitige Wirkung der Schwerkraft ebenso wie bei der Zentrifuge ausgeschlossen. Da aber eine Zentrifugalwirkung gleichfalls unterbleibt, fehlen alle Bedingungen einer Orientierung, so daß Keimstengel und Wurzel in horizontaler Richtung weiterwachsen müssen.

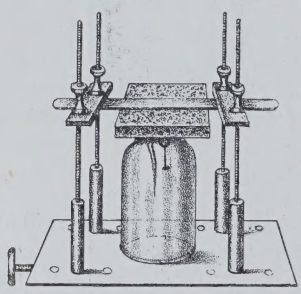


Fig. 54.

Als Klinostat benützen wir das auf Seite 59 abgebildete Uhrwerk. Die Registriertrommel (4) wird abgenommen und auf die Platte (3) vier, in Fig. 54 abgebildete Säulen aufgeschraubt, welchen zwei Messingspangen als Führung dienen. Mit Hilfe von Schraubenmuttern werden diese gegen den Rand des möglichst genau in der Mitte der Tragplatte zu befestigenden Blumentopfes angepreßt. Ist der Durchmesser des Blumentopfes oder des zum Versuche dienenden Gefäßes kleiner als der Abstand der beiden Spangen, so erfolgt die Befestigung mit Hilfe eines quer über den Rand gelegten Stabes wie in Fig. 54.

236. Vers. Ein im Dunkeln erwachsener gerader Keimling (*Helianthus* oder dergleichen) wird in einen kleinen Blumentopf eingetopft. Um die Erde am Herausfallen zu hindern, wird ein in der Mitte entsprechend durchlochtes Filterpapierscheibchen auf die Erde gelegt und mit Holzstäbchen niedergehalten (Fig. 55). Nun wird der Klinostat auf seine Schmalseite gelegt und das

Uhrwerk in Gang gebracht. Der Keimling wird jetzt gleichmäßig um eine horizontale Achse gedreht. Ein Kontrollkeimling wird gleichfalls horizontal, aber ruhend aufgestellt. Während sich dieser unter dem Einflusse der einseitig wirkenden Schwerkraft in kurzer Zeit aufzurichten beginnt und so lange krümmt, bis er die Vertikale erreicht hat, wächst der Keimling auf dem Klinostat horizontal weiter, da die Wirkung der Schwerkraft durch die Drehung zu einer allseits gleichmäßigen gemacht wurde. Der Versuch ist am besten im Dunkeln durchzuführen.

237. Vers. Ein in Sägespänen erzogener Keimling von *Vicia Faba* (*Zea*, *Phaseolus*) mit völlig gerader, zirka 2 *cm* langer Wurzel wird so wie in Vers. 235 in einem kleinen Glaszylinder (einem Fläschchen mit weitem Hals) kultiviert und dieser auf der Platte des Klinostaten befestigt. Um ein Zersprengen des Gläschens zu verhüten, überdeckt man es zweckmäßig mit einer Korkplatte (Parallelversuch). Der Erfolg des Versuches ist analog dem vorigen Versuchsergebnisse.

Haben wir in der Schwerkraft die Ursache der Orientierung erkannt, so stehen wir vor einem neuen Rätsel. Wir können uns wohl vorstellen, daß sich die Wurzel unter dem Einflusse der Schwere nach abwärts krümmt, so wie sich ein an einem Ende eingeklemmter Stab infolge seines eigenen Gewichtes senkt. Wie aber sollen wir es verstehen, daß sich der Stamm unter der Wirkung derselben Kraft erhebt? Mancherlei Erklärungsversuche schlugen fehl, bis man erkannte, daß weder bei der Wurzel noch beim Stamme das Gewicht des Organs die Bewegung verursacht, daß die Schwerkraft vielmehr in ganz anderer Weise die Bewegung veranlaßt.

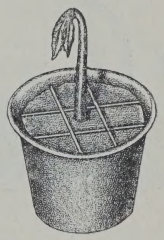


Fig. 55.

238. Vers. An die innere Wand einer kleinen Kristallisierschale wird mit Siegellack ein Kork aufgekittet (Fig. 56 rechts) und die Schale hierauf mit Quecksilber gefüllt, das (zur Vermeidung schädlicher Dämpfe) einige Millimeter hoch mit Wasser überschichtet wird.

Ein Keimling von *Vicia Faba* mit einer zirka 2 *cm* langen möglichst geraden Wurzel wird nun mit nassem Filterpapier umhüllt (dieses ist in Fig. 56 nicht eingezeichnet) und mit einer Nadel so in den Kork gespießt, daß er seine Flanke nach oben kehrt, während die Wurzel knapp über dem Quecksilberspiegel zu liegen kommt. Das ganze Gefäß wird nun in eine größere mit Wasser gefüllte Schale gestellt und mit einem Sturz, der zweckmäßig mit feuchtem Filterpapier ausgekleidet ist, bedeckt, um die zum Wachstume erforderliche feuchte Atmosphäre herzustellen. Am folgenden Tage hat sich die Wurzel wie in Fig. 56 gekrümmt und ist dabei in das spezifisch viel schwerere Queck-

silber eingedrungen. Die Wurzel krümmt sich also mit viel größerer Kraft, als es ihrem Gewichte entspricht.

Nach unseren Erfahrungen veranlaßt also die Erdschwere eine Krümmung, die Art ihrer Ausführung und die dabei angewandte Kraft hingegen sind ausschließlich von der Natur des Pflanzenteiles, nicht aber von der veranlassenden Ursache abhängig.

Das Wesen der Reizvorgänge.

Derartige Erscheinungen treffen wir nun bei Tieren ganz allgemein an. Irgendeine Ursache, zum Beispiel ein Licht veranlaßt das Tier zu einer Bewegung; ob es aber die Lichtquelle aufsucht oder flieht, ist ebenso von der Natur des Tieres abhängig wie die Art und Weise, wie es sich dabei bewegt. Wir sagen in solchen Fällen: Das Licht wirkt auf das Tier als Reiz oder das Tier ist durch Licht reizbar. Die Gesamtheit der Prozesse, welche mit der Wahrnehmung des Reizes beginnen und mit der Reaktion auf den Reiz in Erscheinung treten, bezeichnen wir als Reizvorgang. Die Analogie mit dem Verhalten der Pflanzen gegenüber der Schwerkraft liegt so klar zutage, daß wir nicht anstehen, auch hierin einen Reizvorgang zu erblicken.

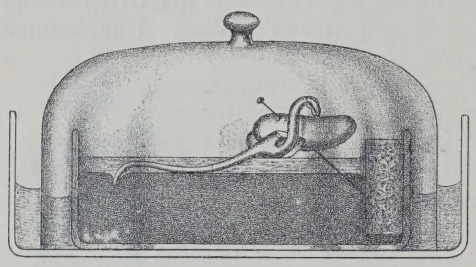


Fig. 56.

Wir hätten aber mit dieser Erkenntnis wenig erreicht, wenn sich nicht eine bestimmtere Vorstellung über das Wesen eines Reizvorganges gewinnen ließe. Wir werden daher trachten, ihn auf einfachere, uns genauer bekannte Vorgänge zurückzuführen. Da wir von der Annahme ausgehen, daß im Organismus dieselben Kräfte tätig sind wie in der anorganischen Natur, wollen wir nach ähnlichen Erscheinungen in der leblosen Natur suchen. Betrachten wir die Wirksamkeit einer Maschine, etwa einer Lokomotive. Wenn ich durch meine Muskelkraft einen Hebel verschiebe, so wird die Lokomotive in Gang gesetzt, wobei sie eine Arbeit zu leisten vermag, welche die aufgewandte Arbeit um ein Vielfaches übertrifft. Ändere ich die Richtung des einströmenden Dampfes, so kann durch analoge Hebelbewegung eine entgegengesetzte Fahrtrichtung der Maschine bewirkt werden. Die Erklärung der Wirksamkeit unserer Maschine ist im Prinzip sehr einfach. Daß sie imstande ist, eine gewaltige Arbeit zu leisten, mit anderen Worten, daß sie Energie besitzt, beruht jedenfalls auf der Verbrennung des zugeführten Heizmaterials; meine Muskelkraft hat durch Verschieben des Hebels nur bewirkt, daß die gewaltige

Energiemenge zur Wirksamkeit kommen kann, sie hat Energie ausgelöst. (Vgl. S. 155.) Die Richtung der Bewegung kann unter Umständen gleichfalls unabhängig von der Richtung sein, in welcher der Hebel bewegt wurde; sie ist bedingt durch das Ineinandergreifen der Maschinenbestandteile, allgemein gesagt, durch deren Konstruktion.

Übertragen wir unsere an der Maschine gewonnenen Erfahrungen auf die Pflanze, so erscheint uns die Wirkungsweise der Schwerkraft (Gravitation) mit einem Schlage in hellerem Lichte. Die Gravitation wirkt wie unsere Muskelkraft bei der Lokomotive nur auslösend; Stärke und Verlauf der Krümmung ist bedingt durch die der Pflanze zur Verfügung stehende Energie und durch die Konstruktion der Pflanzenmaschine, d. h. durch die Organisation der lebenden Pflanze. Woher die Pflanze die zur Bewegung erforderliche Energie nimmt, ist uns bereits bekannt. Wir haben ja in der Atmung einen dem Verbrennungsprozeß gleichenden Oxydationsvorgang kennen gelernt, bei welchem, wie wir an unserer Maschine sahen, Energie gewonnen wird. Unsere Betrachtungen haben also zu zwei überaus wertvollen Resultaten geführt: 1. Die geotropische Krümmung beruht auf einem Reizvorgange, wie wir ihn allgemein bei den Tieren antreffen. 2. Ein Reizvorgang ist nichts anderes als ein Fall von Auslösung, welche auch bei Maschinen vielfach wirksam ist.

Während wir aber in die Auslösungsvorgänge bei unseren Maschinen einen klaren Einblick haben, da wir deren Konstruktion kennen, fehlt uns derzeit jede Möglichkeit, in die offenbar höchst komplizierte innere Organisation der lebenden Pflanze tiefer einzudringen, so daß es ausgeschlossen erscheint, einen Reizvorgang völlig zu erklären.

Gelingt es auch nicht, den Schleier ganz zu lüften, so wollen wir doch auf den Versuch nicht verzichten, einen Reizvorgang soweit als möglich zu zergliedern, um auf diese Weise wenigstens einige charakteristische Eigentümlichkeiten des Prozesses kennen zu lernen.

239. Vers. Wir wiederholen Vers. 234 in der Weise, daß wir einen 3—4 *cm* hohen Keimling von *Helianthus* und *Phaseolus multiflorus* gleichzeitig im Dunkeln horizontal legen. Um für die geotropische Krümmung möglichst gleichmäßige Bedingungen zu schaffen, orientieren wir beide Keimlinge derart, daß sie mit ihren Flanken nach oben sehen. (Vgl. S. 200.) Wir konstatieren, daß der Krümmungsbeginn beim *Helianthus*-Stengel früher einsetzt (bei Zimmertemperatur etwa nach 70 Minuten) als bei *Phaseolus*. Daraus folgt zunächst, daß vom Beginne der Reizung, d. h. von dem Augenblicke an, wo der Keimling durch Umlegen einseitiger Schwerewirkung ausgesetzt wird, bis zum Eintritte der Krümmung eine bestimmte Zeit verfließen muß, daß aber

die hierzu erforderliche Zeit bei verschiedenen Pflanzen ungleich groß ist.

Was geschieht nun, wenn der Keimling nicht bis zum Eintritte der Krümmung in derselben Lage verharrt?

Die geotropische Nachwirkung.

240. Vers. Wir legen wie im vorhergehenden Versuche zwei *Helianthus*-Keimlinge gleichzeitig im Dunkeln horizontal und bezeichnen die nach oben gewendete Seite durch einen auf dem Topfe angebrachten Kreidestrich. Nach 30—40 Minuten, nachdem noch keinerlei Krümmung nachweisbar ist, richten wir einen Topf wieder auf und beobachten zeitweise sein weiteres Verhalten. Nach etwa einer Stunde sehen wir den horizontal verbliebenen Keimling sich deutlich aufrichten; aber auch die vertikale Pflanze hat sich indessen gekrümmt, und zwar nach der ursprünglich oberen Seite. Die Zeit von 30 Minuten hat demnach bereits hingereicht, den Keimling durch die Schwerkraft zu beeinflussen, geotropisch zu induzieren, während sich die Krümmung als geotropische Nachwirkung einstellte. Hätten wir den Keimling schon nach 10 Minuten aufgerichtet, so wäre eine Nachwirkung ausgeblieben, d. h. die Zeit hätte nicht hingereicht, den Keimling entsprechend stark zu reizen.

Dieser Versuch ist von größtem theoretischen Interesse. Die Wahrnehmung des Reizes erfordert, wie daraus unmittelbar hervorgeht, eine bestimmte Zeitdauer, die unter günstigen Umständen allerdings nur nach Minuten zählt; in gleicher Weise muß bis zum Eintritte der Krümmung ein bestimmter Zeitraum verfließen. Im Verlaufe des Reizvorganges sind demnach zwei zeitlich voneinander deutlich verschiedene Prozesse zu erkennen: die Reizwahrnehmung oder Perzeption und der Reizerfolg oder Reaktion. Je kürzer die Zeit ist, welche zur erfolgreichen Induktion hinreicht, oder genauer, je schneller der Reiz wahrgenommen wird, desto größer ist die Empfindlichkeit eines Organs.

Äthernarkose.

Die Ähnlichkeit mit einem tierischen Reizvorgange ist unverkennbar. Während aber bei höher stehenden Tieren Wahrnehmung eines Reizes und Reaktion mit Blitzesschnelle aufeinanderfolgen, so daß die Feststellung von Zeitunterschieden die feinsten Instrumente erfordert, können wir bei der langsam reagierenden Pflanze diese beiden Endglieder des Reizvorganges leicht und sicher auseinanderhalten.

Die Analogie mit dem tierischen Reizvorgange wird noch überraschender, wenn wir erfahren, daß die Pflanze wie das Tier durch narkotische Mittel an der Ausführung von Bewegungen verhindert werden kann.

241. Vers. Ein Keimling mit gerader Wurzel wird wie in Vers. 235 vorbereitet und das den Boden des Gefäßes bedeckende Wasser mit 4—5 Tropfen Äther versetzt. Im Kontrollversuche bleibt natürlich der Äther fort. Während in diesem schon nach kurzer

Zeit eine geotropische Krümmung der Wurzel wahrzunehmen ist, bleibt sie in der Ätheratmosphäre aus. (War die Ätherwirkung nicht allzu stark, so stellt sich jedoch die Krümmung nach kurzer Zeit ein, wenn der Keimling wieder in ätherfreie Luft zurückgebracht wird.)

Die große Übereinstimmung zwischen pflanzlichen und tierischen Reizerscheinungen läßt die Frage nicht ungerechtfertigt erscheinen, ob den Pflanzen auch der Besitz von Nerven zukommt. Die Frage ist erst vor kurzem in bejahendem Sinne beantwortet worden, indem man in gewissen faserförmigen Bildungen des Protoplasmas den Nerven analoge Gebilde erkennen wollte. (Němec.) Ein befriedigender Beweis konnte jedoch für diese Anschauung nicht erbracht werden, manches spricht vielmehr dafür, daß hier nur eine ganz äußerliche Ähnlichkeit vorliegt. Der Mangel an Nerven ist übrigens keineswegs so überraschend, wie es für den Augenblick scheinen könnte, da auch im tierischen Organismus eine Reihe von Bewegungserscheinungen bekannt sind, welche durch Reize beeinflußt werden, ohne daß hierfür Nerven in Anspruch genommen würden. (Flimmerzellen der Luftröhrenschleimhaut.) Hingegen ist in neuerer Zeit der Nachweis erbracht worden, daß Pflanzen gewisse Reize durch bestimmt gestaltete Zellen wahrnehmen, die demzufolge als Sinnesorgane bezeichnet wurden. (Haberlandt.) Auch der Schwerkraftreiz soll nach den Untersuchungen von Haberlandt und Němec durch Sinneszellen vermittelt werden. Da jedoch der lebhafte Meinungsaustausch über diesen Gegenstand noch zu keinem Abschlusse gekommen ist, so kann hier, wo nur die gesicherten Grundlagen unserer Wissenschaft dargestellt werden sollen, nicht näher darauf eingegangen werden.

Die oft aufgeworfene Frage, ob das Vorhandensein von Reizvorgängen nicht ein Bewußtsein voraussetzt, ob also der Pflanze eine Psyche (Seele) zuzuschreiben ist, fällt eigentlich schon außerhalb des Rahmens naturwissenschaftlicher Betrachtung, da Bewußtsein nicht zum Gegenstande objektiver Beobachtung gemacht werden kann. Jedenfalls berechtigt uns nichts, ein Bewußtsein bei Pflanzen vorauszusetzen.

Kehren wir zu unseren geotropischen Untersuchungen zurück. Wir haben noch eine wichtige Frage zu beantworten. Welche Mittel stehen der Pflanze zur Ausführung derartiger Krümmungen zu Gebote? „Krümmungsmechanik."

So schwierig eine genaue Beantwortung dieser Frage ist, so können uns doch einige Versuche einen Anhaltspunkt bieten.

242. Vers. Wir wiederholen Vers. 234 und 235 derart, daß wir Keimling und Wurzel vorher markieren (s. Vers. 203). Die Krümmung tritt stets in der Zone des stärksten Wachstums ein, während sich eventuell vorhandene ausgewachsene Stellen nicht mehr an der Bewegung beteiligen.

Dasselbe Ergebnis tritt noch klarer hervor, wenn wir zu unserem Versuche ein Stammstück mit mehreren Internodien verwenden. Ein zweckentsprechendes Material liefern zum Beispiel die Blütenstiele einer Schwertlilie.

243. Vers. Die Längen der Internodien einer *Iris* werden gemessen, der Blütenstiel hierauf horizontal gelegt. Die Aufrichtung erfolgt wie in Fig. 57. Die Messung würde in diesem Falle ergeben, daß nur das erste, jüngste Internodium noch im Wachstume begriffen ist.

244. Vers. Ein etwa 10 *cm* langes Stück eines aufrechten Getreidehalmes wird mit seiner Basis in feuchten Sand gesteckt, so daß das Halmstück samt den daran befindlichen Knoten horizontal zu liegen kommt und an der Bewegung nicht gehindert wird. Ein Sturz verhindert das Austrocknen des Sandes. Am folgenden Tage sehen wir das freie Halmende aufgerichtet

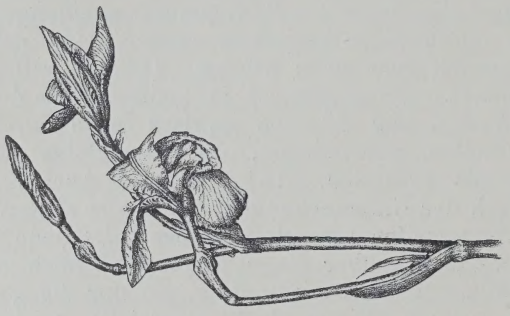


Fig. 57.

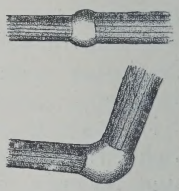


Fig. 58
(nach Noll).

(Fig. 58 unten), indem der Knoten auf seiner Unterseite sichtlich stärker als oberseits gewachsen ist.

Die geotropische Krümmung ist also an das Wachstum gebunden und wird, wie eingehende Beobachtungen ergaben, durch ungleichseitiges Wachstum hervorgerufen. Die Schwerkraft bewirkt also bei negativ geotropischen Organen ein relativ stärkeres Wachstum der Unterseite, während sich positiv geotropische Pflanzenteile umgekehrt verhalten.

Da die geotropische Krümmung auf ungleichem Wachstum gegenüberliegender Seiten eines Organs beruht, muß sie natürlich durch dieselben Umstände wie das Wachstum selbst beeinflußt werden (vgl. Vers. 224—226).

Heliotropismus.

Ebenso alt und allgemein bekannt wie die Aufrichtung in horizontale Lage gebrachter Stengel ist eine andere Krümmungsbewegung, welche die alten Botaniker als Lichthunger bezeichneten, die Krümmung der Stengel bei einseitiger Beleuchtung. Auf jedem Blumentische sehen wir, wie die Pflanzen das spärliche

durchs Fenster einstrahlende Licht förmlich aufsuchen, wobei sie sich oft so energisch krümmen, daß selbst das Aufbinden an einen Stock nicht immer den gewünschten Erfolg hat. Diese Erscheinung wurde schon vor mehr als 150 Jahren von Hales, Bonnet, Du Hamel u. a. wissenschaftlich untersucht und im wesentlichen richtig beschrieben.

Um die Pflanze zu einer derartigen Krümmung zu veranlassen, wollen wir zur ersten Orientierung einen ganz einfachen Versuch einleiten.

245. Vers. 1. Wir stellen eine junge, in kräftigem Wachstume befindliche Pflanze, zum Beispiel einen mehrere Zentimeter hohen Keimling einer Bohne oder dergleichen auf einen Kasten an der Hinterwand eines Zimmers. Schon am folgenden Tage beobachten wir eine deutliche Krümmung des Stengels gegen das Fenster, also zum Lichte; wir bezeichnen diese Krümmung als positiven Heliotropismus.

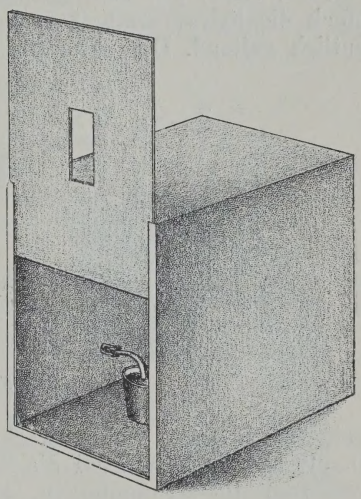


Fig. 59.

Unser Versuch fällt natürlich um so schöner aus, d. h. die Krümmung ist um so deutlicher ausgeprägt, je ausgesprochener die Richtung des einfallenden Lichtes ist. Um dies zu erreichen bedienen wir uns der sog. heliotropischen Kammer, die wir uns leicht aus einer nicht zu kleinen Kiste selbst herstellen können, wenn wir den Deckel entfernen und etwa in der Mitte der Vorderwand ein Loch ausschneiden. Stülpen wir die Kiste umgekehrt über eine Pflanze, so wird sie natürlich nur von streng einseitig einfallendem Lichte getroffen. An unserer kleinen Vorrichtung lassen sich übrigens leicht noch einige Verbesserungen anbringen. Um auch das von den Wänden reflektierte Licht zu vermeiden, streichen wir sie innen mit mattschwarzer Farbe an, nachdem vorher alle Fugen sorgfältig verkittet wurden. Von Vorteil ist es auch, die Vorderwand ganz herauszunehmen und an ihrer Stelle, wie aus unserer Fig. 59 ersichtlich ist, auswechselbare Schubtüren aus starker Pappe oder Holz einzufügen, welche mit verschieden großen Ausschnitten versehen sind, wodurch es ermöglicht wird, die Stärke des einfallenden Lichtes zu verändern.

2. Wir stellen in die Mitte der heliotropischen Kammer knapp nebeneinander zwei Töpfe, von denen einer mit kei-

mender Kresse, der andere mit Wickenkeimlingen beschickt wurde. Um über möglichst gerade Keimlinge zu verfügen, kultivieren wir sie bei völligem Lichtabschluß und übertragen sie unter möglichster Vermeidung von Vorbelichtung rasch in die Kammer. (Vgl. Anhang: Anzucht.) Stellen wir die Töpfe so auf, daß sie in die Höhe des Lichteinfalles zu stehen kommen, so sehen wir am folgenden Tage die Wickenkeimlinge in fast rechtem Winkel gebogen und der Kastenöffnung zugewendet, indem sie sich genau in die Richtung des Lichteinfalles einstellten (Fig. 60 rechts). Was die erreichte Lage so besonders auffällig macht, ist die fast gänzliche Unterdrückung der Schwerkraftwirkung, die bei völligem Ausschluß des Lichtes eine negativ geotropische Aufrichtung des Keimlings bewirken würde. Bei der Kresse (Fig. 60, links) und zahlreichen anderen Keimlingen macht sich jedoch die Schwerkraft trotz der einseitigen Lichtwirkung ganz deutlich geltend. Die geneigte Lage ist durch das Ineinander-

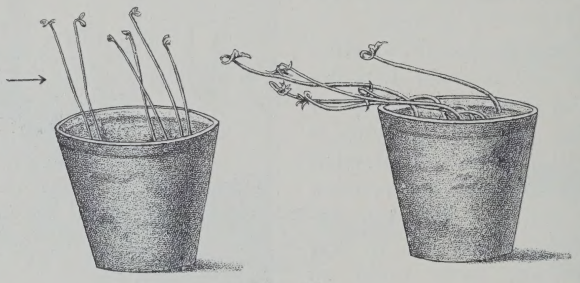


Fig. 60.

greifen von Licht- und Schwerkraftwirkung bedingt. (In den Fig. 60—62 bedeutet der Pfeil die Richtung des einfallenden Lichtes.)

Daß die Krümmungen, welche wir beobachten konnten, auf einseitiger Lichtwirkung beruhen, können wir mit Hilfe des uns bereits bekannten Klinostaten mit völliger Sicherheit beweisen.

246. Vers. Wir wiederholen Vers. 245. Neben den ruhenden Keimling stellen wir den Klinostat in aufrechter Lage, also derart, daß die Drehungsachse vertikal steht. Bringen wir auf die Tragplatte des Klinostaten einen Topf mit einem Vergleichskeimling, so wird sich dieser um seine eigene Achse drehen, so daß sich die Wirkung des Lichtes auf allen Seiten gleichmäßig äußert. Der rotierende Keimling bleibt infolgedessen gerade, während sich das ruhende Exemplar heliotropisch krümmt.

Zur Erklärung des Zustandekommens der heliotropischen Krümmung wurde eine ganze Reihe verschiedener Hypothesen aufgestellt, die aber alle versagten, als Knight in den Ranken von *Ampelopsis* und *Vitis* Organe auffand, die sich gerade um-

gekehrt wie unsere Keimlinge verhielten, indem sie sich vom Lichte wegkrümmten, eine Eigenschaft, die man später als negativen Heliotropismus bezeichnete.

Heute kennen wir bereits zahlreiche Beispiele von negativem Heliotropismus. In einigen Fällen konnte sogar der Nachweis erbracht werden, daß dasselbe Organ bei schwachem Lichte positiv heliotropisch reagiert, während es starkes Licht flieht, daß also die Art des Heliotropismus von der Lichtstärke abhängt. Ausgezeichnete Beispiele für negativen Heliotropismus (bei einseitig einfallendem, zerstreutem Tageslicht) bieten uns die Wurzeln von *Sinapis* und *Chlorophytum comosum* (bekannter unter dem Gärtnernamen *Hartwegia*), einer beliebten Ampelpflanze, deren lang herabhängende Stengel Blattbüschel tragen, an welchen Luftwurzeln zur Entwicklung kommen.

247. Vers. Wir schneiden ein derartiges Blattbüschel samt den zugehörigen Wurzeln ab und kultivieren es ähnlich wie unsere Wasserkulturen weiter, indem wir es mit Hilfe eines Korkstöpsels in einem weithalsigen, mit Nährstofflösung (Brunnenwasser) gefüllten Glase befestigen. Die Wurzeln beginnen sich bald zu strecken und erreichen eine ziemlich beträchtliche Länge. Stellen wir das Gefäß so auf, daß es einseitigem (nicht allzu schwachem) Lichte ausgesetzt ist, so krümmen sich alle Wurzeln, wie Fig. 61 zeigt, vom Lichte weg. (Wiesner.)

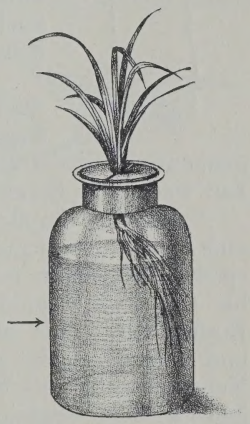


Fig. 61.

Die auffallende Analogie der heliotropischen mit den geotropischen Krümmungen läßt uns schon von vornherein vermuten, daß wir es dort wie hier mit einer Reizerscheinung zu tun haben, eine Vermutung, deren Richtigkeit durch zahlreiche Untersuchungen volle Bestätigung fand.

Die Glieder des Reizvorganges.

Die Keimlinge gewisser Gräser bieten uns Gelegenheit, unsere bisherige Kenntnis der Reizvorgänge in willkommener Weise zu erweitern.

248. Vers. Wir lassen Hirsesamen (*Panicum*) auf Filterpapier im Dunkeln ankeimen und übersetzen die etwa 1 *cm* langen Keimlinge reihenweise in kleine Töpfe, die wir bis zum folgenden Tage dunkel stellen. Die Keimlinge bestehen aus einem aufrechten Stengelteile, dem Hypokotyl, dem ein Blättchen, der Kotyledo, aufsitzt. Bei einer Anzahl von Keimlingen schieben wir über den Kotyledo ein Stanniolkäppchen, das in der Weise hergestellt wird, daß wir ein entsprechendes Stückchen Stanniol um eine Bleistiftspitze, ein Drahtende od. dgl. herumwickeln. Werden die aufrecht gebliebenen Keimlinge am folgenden Tage

unter möglichster Vermeidung von Vorbelichtung einseitiger Beleuchtung ausgesetzt, so bleiben die Exemplare, deren Kotyledo durch das Käppchen vor Lichtzutritt geschützt ist, gerade (Fig. 62 rechts), während die unbedeckten Vergleichsobjekte sich deutlich dem Lichte zuwenden (Fig. 62, links). Die heliotropische Krümmung tritt also nur dann ein, wenn der Kotyledo beleuchtet ist. (Rothert.)

Das überraschende Ergebnis läßt sich nur unter der Annahme verstehen, daß der Kotyledo allein imstande ist, den einseitigen Lichtreiz wahrzunehmen; die heliotropische Krümmung erfolgt hingegen im Hypokotyl, welchem aber die Fähigkeit, den Lichtreiz zu perzipieren, abgeht. Der vom Kotyledo aufgenommene Reiz muß also auf irgendeine uns unbekannte Weise in den Stengelteil geleitet worden sein. Wir entnehmen daraus, daß sich zwischen Reizwahrnehmung und Reizreaktion noch die Reizleitung als Bindeglied in die Kette des Reizvorganges einfügt.

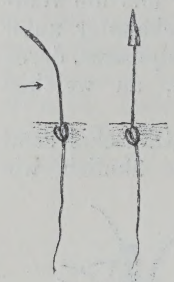


Fig. 62.

Da Reizleitungsvorgänge bereits in zahlreichen Fällen sichergestellt sind, nimmt man an, daß sich jeder Reizvorgang aus den drei genannten Gliedern zusammensetzt, so daß die Analogie mit den tierischen Reizvorgängen vollständig wird.

Daß die Empfindlichkeit für Schwerkraft und Licht offenbar eine ganz hervorragende Bedeutung im Leben der Pflanzen spielt, geht schon indirekt daraus hervor, daß wir sie nur selten bei einzelnen Organen oder Pflanzen vermissen. Wir haben der Einfachheit halber nur von Hauptachsen (Stengel und Stämme) und Hauptwurzeln gesprochen. Aber auch an Seitenzweigen, Nebenwurzeln und Blättern finden wir die gleiche Empfindlichkeit wieder, obgleich sich diese Glieder des Pflanzenkörpers weder in die Richtung der Vertikalen noch parallel den einfallenden Lichtstrahlen einstellen (vgl. Fig. 30). Diese Organe reagieren eben auf dieselben Reize in einer anderen Weise oder unterliegen verschiedenen orientierenden Ursachen, die oft in einer so komplizierten Weise ineinandergreifen, daß es uns noch vielfach unmöglich ist, das Zustandekommen ihrer Lage aufzuklären, wenngleich uns eine einfache Überlegung über die Zweckmäßigkeit der verschiedenen Orientierung von Haupt- und Seitenorganen aufklärt.

Um wenigstens ein Beispiel eines derartigen Zusammenwirkens mehrerer Orientierungsursachen zu geben, sei nachstehender Versuch angeführt.

Epinastie. 249. Vers. Die Zweige von *Hyoscyamus niger* sind im leichten Bogen gekrümmt, so daß die Enden annähernd horizontal stehen. Ein solcher Zweig wird abgeschnitten und sein basales Ende durch

einen durchlochten Kork gesteckt, der möglichst dicht auf ein mit Wasser gefülltes Gläschen paßt. Zur völligen Dichtung wird der Stöpsel mit Klebwachs verkittet (vgl. Anhang). Das Gefäß wird hierauf in passender Weise auf der Klinostatenscheibe befestigt und wie in Vers. 236, also um die horizontale Achse, und zwar parallel der Fensterebene, gedreht, wodurch die einseitige Wirkung von Schwere und Licht ausgeschaltet wird. Nach 1—2 Tagen sehen wir den Zweig sich nach seiner ursprünglichen Unterseite hin einkrümmen wie in Fig. 63 links, welche ein Exemplar wiedergibt, das 48 Stunden auf dem Klinostat rotierte. Diese Krümmung ist demnach unabhängig von äußeren Faktoren, spontan, zustande gekommen. Da sie durch verstärktes Längenwachstum der Oberseite des Zweiges bewirkt wird, bezeichnet man sie als Epinastie. Nachdem ein gleich vorbereiteter, ruhend aufgestellter Zweig in annähernd horizontaler Richtung verharrt (Fig. 63 rechts), nehmen wir an, daß diese Lage dadurch zustande kommt, daß dem negativen Geotropismus, infolge dessen

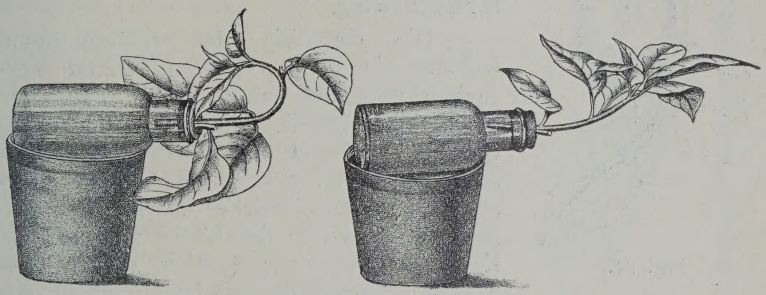


Fig. 63.
(In der linken Figur ist die Unterseite nach oben gewendet.)

der Zweig sich aufzurichten strebt, die in entgegengesetzter Richtung wirkende Epinastie das Gleichgewicht hält. (Wiesner.)

Wir haben bei diesem Versuche in dem Klinostat ein Mittel gefunden, um spontane Krümmungen zu erkennen. Es darf aber nicht verschwiegen werden, daß die Deutung derartiger Ergebnisse sehr sorgfältige Kritik erfordert; bei exakten Versuchen wird man es nicht unterlassen, den Gang der Feuchtigkeit, Temperatur etc. genau zu verfolgen, da unter Umständen ein Wechsel dieser Faktoren gleichfalls eine Bewegung veranlassen könnte.

Neben der Epinastie sind noch eine Reihe anderer Bewegungen bekannt geworden, welche unabhängig von äußeren Ursachen eintreten. Man faßt sie, soweit sie durch ungleiches Wachstum vermittelt werden, als spontane Nutationen zusammen.

Das Nicken der Keimlinge.

250. Vers. Wir pflanzen in einen kleinen Blumentopf einen durch 24 Stunden in Wasser gequollenen Samen von *Phaseolus* oder *Helianthus,* fixieren die Erde durch Filterpapier und Stäbchen

wie in Vers. 236 und lassen den Topf um die horizontale Achse auf dem Klinostat rotieren, bis der Keimling heranwächst. Um seine Entwicklung nicht zu hemmen, müssen wir das Filterpapierscheibchen vorher in der Mitte durchlochen. Als Parallelversuch stellen wir je einen Keimling normal im Dunkeln und im Lichte auf. Wir sehen bei allen drei Pflänzchen die Spitze nach abwärts gekrümmt und erkennen daraus, daß das Nicken der Keimlinge eine spontane Krümmung darstellt.

Sachssche Krümmung.

251. Vers. Samen von *Vicia Faba* werden wie gewöhnlich eingequollen und in feuchte Sägespäne gesteckt. Wenn das Spitzchen der Wurzel eben zum Vorschein kommt, nehmen wir den Samen aus und bereiten ihn wie zum Vers. 235 vor. Wir stellen drei Versuchspflanzen in ganz gleicher Weise wie im vorigen Versuche auf. Am folgenden Tage weisen alle Wurzeln eine Krümmung auf, wie sie Fig. 64 zeigt. Wir nennen diese spontane Wurzelkrümmung nach ihrem Entdecker Sachssche Krümmung.

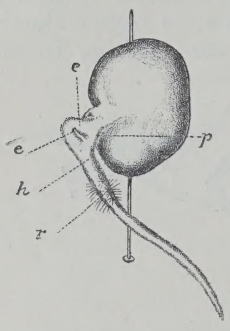


Fig. 64.

Die Kenntnis der Krümmungen, welche wir in den beiden letzten Versuchen auftreten sahen, ist für uns von großer Wichtigkeit. Wir sehen, daß Stengel und Wurzel das Bestreben haben, auf einer Seite, die wir als Oberseite bezeichnen wollen, stärker als auf der entgegengesetzten in die Länge zu wachsen. Es ist unschwer verständlich, daß infolgedessen die heliotropische oder geotropische Krümmung je nach der Orientierung des Keimlings verstärkt oder vermindert, selbst ganz aufgehoben werden kann. Aus diesem Grunde haben wir die Keimlinge stets so aufgestellt, daß eine Flanke in die Richtung der Schwerkraft oder des Lichtes zu liegen kam.

Kehren wir wieder zu den Bewegungen zurück, welche durch äußere Ursachen bedingt werden.

Während die meisten Pflanzen befähigt sind, die Richtung des Lichtes und der Schwerkraft wahrzunehmen, ist ein Empfindungsvermögen für andere Reize nur auf bestimmte Organe oder Pflanzen beschränkt. Die Wurzel vor allem, welche bei der Nahrungsaufnahme eine so wichtige Rolle spielt, reagiert in ganz ausgezeichneter Weise auf verschiedene äußere Einflüsse, wodurch sie befähigt wird, den Boden in zweckmäßigster Weise auszunützen.

Hydrotropismus.

252. Vers. Um zu untersuchen, ob von der Wurzel ein Feuchtigkeitsunterschied wahrgenommen werden kann, bedienen wir uns eines von Sachs angegebenen Apparats, den wir uns

in vereinfachter Form leicht selbst herstellen können (Fig. 65). Wir verfertigen uns einen Holzrahmen von etwa 5 *cm* Höhe und einer inneren Weite von 10 : 20 *cm*. Die untere Seite wird mit weitmaschigem Tüll überspannt, während oberseits vier Ösen eingeschraubt werden, an welchen die kleine Vorrichtung mittelst Schnüren aufgehängt werden kann. Der Apparat wird mit gut durchfeuchteten Sägespänen gefüllt. In diese werden einige *Zea*-Keimlinge, deren möglichst gerade Wurzeln eine Länge von ca. 2 *cm* besitzen, so eingesetzt, daß die Wurzelspitzen nahe über dem Organtin stehen. Die ganze Vorrichtung wird sodann unter einem Winkel von 50—60° auf einem Stativ aufgehängt.

Wenn die positiv geotropisch nach unten wachsenden Wurzeln aus den Maschen des Tülls hervortreten, so wachsen sie nicht in der Vertikalen, sondern unter einem Winkel von 50° beziehungsweise 60° weiter, indem sie sich zum Tüll hinkrümmen und sich ihm anschmiegen. Bringt man den ganzen in gleicher Weise vorbereiteten Apparat in eine dunstgesättigte Atmosphäre, so behalten die Wurzeln ihre vertikale Wachstumsrichtung dauernd bei. In diesem Falle sind sie eben auf allen Seiten von gleich feuchter Luft umgeben, während sie sich bei der ersten Anordnung des Versuches zu den feuchteren Sägespänen (positiv hydrotropisch) hinwenden.

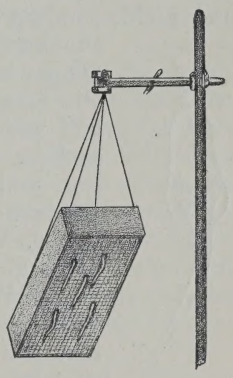


Fig. 65.

Die Wurzeln sind demnach befähigt, die feuchteren Stellen im Boden aufzusuchen. Sie nehmen aber auch — und gerade diese Eigenschaft ist zweifellos für den Haushalt der Pflanze besonders wichtig — die einzelnen chemischen Verbindungen des Bodens, die Bodensalze, wahr und wachsen entweder zu ihnen hin oder, falls sie von schädlicher Wirkung sind, von ihnen weg. Um diese Eigenschaft der Wurzeln zu prüfen, bedienen wir uns der ebenso zweckmäßigen als einfachen Methode, welche kürzlich M. Lilienfeld in folgender Weise beschrieb:

Chemotropismus.

253. Vers. „Runde Glasschalen von zirka 12 *cm* Höhe und 15 *cm* Durchmesser werden mit einer Lösung von 3% Gelatine mit destilliertem Wasser*) gefüllt und nach dem Erstarren genau in der Mitte ein etwa 20 cm^3 Flüssigkeit fassendes Loch ausgestochen. In dieses wurde der zu prüfende Stoff in wässeriger Lösung . . . eingefüllt. Ausgesucht gerade gewachsene *Lupinus*-Keimlinge von einer Länge (Wurzellänge) von 15—40 *mm*

*) Da es ohne besondere Hilfsmittel schwer ist, eine ganz reine Gelatinelösung zu erhalten, lassen wir eine möglichst gereinigte, neutral reagierende Lösung in der Apotheke herstellen.

wurden in verschiedener Entfernung (5—50 *mm*) von dem mittleren Loche gerade in die Gelatine vorsichtig hineingestoßen, was bei ihrer geringen Konsistenz ohne Schädigung leicht gelang, und das Ganze in einer dunklen Kammer während 24 bis 48 Stunden gehalten.“ Indem der zu prüfende Stoff langsam in der Gelatine diffundiert, wird die Wurzel einseitig von dem Reize getroffen, wodurch die Bedingungen zur Reaktion geschaffen werden. Wir stellen zwei Versuche auf, den einen mit saurem, phosphorsaurem Kali ($KH_2\ PO_4$), einem unentbehrlichen Nährsalze, den anderen mit Kochsalz ($NaCl$) gefüllt. Von beiden Salzen benützen wir 1% Lösungen in destilliertem Wasser. Im ersten Falle krümmen sich die Wurzeln zur Lösung (positiv chemotropisch), im zweiten von ihr weg (negativ chemotropisch).

Wir sehen also, daß die Wurzel nicht allein Schwerkraft und Licht, sondern auch Feuchtigkeit und chemische Stoffe wahrzunehmen vermag. Doch auch damit ist ihr Empfindungsvermögen noch nicht erschöpft. Wir wollen aber alle diese weniger wichtigen Eigenschaften übergehen und nur mehr ihr Verhalten gegen Wundreiz untersuchen, was schon deshalb für uns von Wichtigkeit ist, weil es uns lehrt, bei allen Versuchen die Pflanzenorgane sorgfältigst zu schonen.

Fig. 66 (n. Sachs).

Darwinsche Wurzelkrümmung.

254. Vers. Wir befestigen einen Keimling von *Vicia Faba*, *Phaseolus* oder *Zea* mit gerader 1—3 *cm* langer Wurzel wie im Vers. 235. Die Wurzelspitze wird nun einseitig verletzt; entweder wird ihr mit scharfem Messer ein kleiner Einschnitt beigebracht oder sie wird mit Höllenstein betupft oder mit einem Siegellacktröpfchen versehen. Nach einigen Stunden erkennt man bereits, wie sich die Wurzel von der Seite, von welcher ihr die Verletzung beigebracht wurde, wegkrümmt, indem auf dieser Stelle ein stärkeres Längenwachstum einsetzt (Fig. 66). Diese Bewegung ist als Darwinsche Wurzelkrümmung bekannt. (Darwin, Wiesner.)

Das Vermögen der Wurzel, auf so mannigfaltige Reize in zweckentsprechender Weise zu reagieren, befähigt sie erst, ihrer Aufgabe vollkommen Genüge zu leisten. Würde sie, ausschließlich beherrscht durch positiven Geotropismus, stets vertikal nach abwärts wachsen, so wäre sie wohl nicht imstande, allen Fährlichkeiten, welchen sie beim Eindringen in den Boden ausgesetzt ist, zu entgehen. Ihr wohlausgebildetes Wahrnehmungsvermögen ermöglicht es ihr aber, feuchte Stellen im Boden und ihr zusagende Bodenbestandteile aufzusuchen, wasserarme Partien oder schädliche Salze, die sich etwa lokal im Boden angesammelt haben, zu vermeiden, Hindernissen, welche sich ihr in den Weg stellen, schon nach der leichtesten Verletzung auszuweichen, ehe durch sie eine schwerwiegende Beschädigung erfolgen kann.

Die Wurzel ist mit einem Worte — dasselbe gilt im allgemeinen für jedes Organ — ihrer Aufgabe (Funktion) in zweckmäßigster Weise „angepaßt".

Das Ranken.

Es ist vorauszusehen, daß Organe, welchen eine ganz bestimmte Aufgabe im Leben der Pflanze zufällt, auch eine charakteristische Anpassung gewärtigen lassen. Ein Beispiel für ein derartiges, ganz bestimmten Zwecken dienendes Organ bieten uns die Ranken gewisser Pflanzen dar, welche wir als Schlingpflanzen oder Lianen bezeichnen. Der Nutzen, welchen ihnen ihre eigentümliche Lebensweise bringt, liegt offenbar — wenigstens in der Mehrzahl der Fälle — darin, daß es ihnen ermöglicht wird, mit tunlichster Raschheit aus dem Bereiche des schattenden Laubdaches ihrer Stützbäume ans Licht zu kommen. Da sie, ohne viel Material zur Festigung ihres Stammes aufzuwenden, schnell emporwachsen, ist dieser nicht imstande, die oft unverhältnismäßig große Last der üppigen Laubkrone zu tragen, so daß eben lebende oder tote Stützen zu diesem Zwecke herangezogen werden müssen, an welchen sie emporzuwachsen vermögen. Sie erreichen ihr Ziel in verschiedenster Weise; manche klammern sich mit Haftwurzeln an der Baumborke oder altem Mauerwerke fest wie unser Efeu, andere legen sich in schraubenförmig aufsteigenden Windungen um die nächste erreichbare Stütze, wie wir es bei Hopfen und Bohne beobachten können, wieder andere umgreifen Blätter und Zweige mit eigentümlichen Kletterorganen, den Ranken, mit welchen sie sich gewissermaßen selbst festzubinden vermögen. Diese Gebilde sollen uns hier beschäftigen.

Wir wählen zu unseren Versuchen zunächst *Bryonia*, welche wir im Frühjahre, nachdem sie auszutreiben begonnen hat, ausgraben — sie besitzt einen großen, rübenförmigen Wurzelstock — und in einen geräumigen Topf verpflanzen. Sie gedeiht ganz leicht, wenn sie knapp am Fenster oder noch besser im Freien gehalten wird. An Stelle der Zaunrübe können wir mit Vorteil auch *Sicyos angulatus* verwenden, welche wir aus Samen ziehen, die zu zwei bis dreien in einen Blumentopf ausgesät und bis zur Keimung warm und feucht gehalten werden. Die jungen Pflanzen werden ins Freie oder in größere Töpfe übersetzt.

Die sich entwickelnden Ranken sind ursprünglich spiralig eingerollt, strecken sich aber bald gerade oder im leichten Bogen nach außen.

255. Vers. Wir stellen einen Stab etwa von der Dicke eines Bleistiftes in die Nähe einer derartigen Ranke. Wir beobachten, wie die Ranke nach einigen Stunden mit dem Stabe in Berührung kommt, sich sodann um ihn herumlegt und sich endlich etwa im Verlaufe einiger Tage in dem Teile zwischen der Stütze und Rankenbasis korkzieherförmig zusammenzieht. Der die Ranke

tragende Zweig ist jetzt wie mit einer Spiralfeder, also elastisch, festgebunden. Die Ranken, welche keine geeignete Stütze finden, rollen sich zusammen und sind in diesem Zustande nicht mehr befähigt, eine ihnen gebotene Stütze zu ergreifen.

Worauf beruhen nun alle diese verschiedenartigen Bewegungen, welche wir in ihrem Verlaufe zu beobachten Gelegenheit hatten? Die meisten derselben stellen sich im Dunkeln ebenso wie im Lichte, bei ruhender Aufstellung in gleicher Weise wie bei Ausschluß einseitiger Schwerkraftwirkung auf dem Klinostat ein. Da sie stets, auch bei möglichst konstanten äußeren Verhältnissen, in gleicher Weise auftreten, müssen wir sie wie die einfache Nutation der Keimlinge als spontane, d. h. eben von äußeren Faktoren unabhängige Bewegung bezeichnen und auf eine nähere Erkenntnis der Ursache der Bewegung verzichten. Die Bewegung hingegen, welche beim Umgreifen des Holzstabes vollführt wird, sowie die nachfolgende korkzieherförmige Einrollung ist an das Vorhandensein einer Stütze gebunden, wird also offenbar durch diese veranlaßt. Um den Einfluß zu prüfen, welchen ein derartiges Stäbchen hervorruft, machen wir — am besten an einem warmen, heiteren Sommertag — folgenden einfachen Versuch.

Fig. 67.

Haptotropismus.

256. Vers. Wir streichen mit einem Holzstäbchen längs der Außenseite einer annähernd geraden Ranke wiederholt (10—20 mal) hin und her, ohne sie dabei allzusehr zu verbiegen (Fig. 67 *a*, *b*).

Unter günstigen Umständen sehen wir schon nach wenigen Minuten eine nach außen gerichtete Krümmung auftreten, welche zusehends immer stärker wird (ausgezogener Kontur der linken Ranke). Nach einigen Stunden streckt sich die Ranke allmählich wieder gerade und nimmt wieder ihre frühere Lage ein. Diese Krümmung beruht nicht etwa auf der mechanischen Verbiegung der Ranke, wovon wir uns leicht überzeugen können.

257. Vers. Wir richten auf die Ranke aus einer Spritzflasche einen dünnen Wasserstrahl, welcher eine kräftige Verbiegung verursacht — eine Krümmung bleibt aus. Die Bewegung der

Ranke wird also nur durch die Berührung mit dem Stäbchen oder, allgemein gesagt, mit einem rauhen Körper hervorgerufen, mit anderen Worten, die Berührung wirkt auf die Ranke als Reiz (Kontaktreiz)*), welcher eine Bewegung auslöst. (Pfeffer.)

Stoßreizbarkeit.

Im Anschlusse an diese Experimente wollen wir die geradezu sprichwörtlich gewordene Reizbarkeit der Sinnpflanze, *Mimosa pudica*, näher untersuchen, der seit jeher Botaniker und Laien das größte Interesse entgegenbrachten. Hier tritt uns eben die Reizbarkeit in viel sinnfälligerer Weise entgegen wie bei den bisher untersuchten Fällen, so daß man die Reizbewegungen der Mimosenblättchen lange Zeit als ein im Pflanzenreiche einzig dastehendes Phänomen bewunderte.

Um geeignete Versuchspflanzen zu erhalten, sät man die Samen am besten im Frühjahre (März) in Töpfen aus, welche zur Erhaltung gleichmäßiger Feuchtigkeit mit einer Glasplatte bedeckt werden. Haben sich die ersten Fiederblättchen entwickelt, wozu je nach der Temperatur etwa 4—6 Wochen erforderlich sind, so werden die Pflänzchen sorgfältig ausgehoben und einzeln in kleine Töpfe verpflanzt. Schon das erste Fiederblatt läßt eine deutliche Reizbarkeit erkennen. Während *Mimosa pudica* sich besonders zur Kultur im Gewächshause oder im Zimmer eignet, kann *Mimosa Spegazzini*, wenn keine Fröste mehr zu befürchten sind (Mitte Mai), ins Freie verpflanzt werden, wo sie sich kräftig entwickelt. Wird sie im Herbste (September) wieder ins Zimmer übertragen, so läßt sie sich ziemlich gut überwintern.

Die Empfindlichkeit der Mimosenblätter äußert sich vorzüglich bei großer Luftfeuchtigkeit und einer Temperatur von wenigstens 20° C, weshalb die Versuche am besten im Warmhause gelingen. Können die Experimente nicht an Ort und Stelle durchgeführt werden, so ist es erforderlich, die Pflanzen einige Stunden vor Gebrauch an den gewünschten Versuchsort zu übertragen und mit einem Glassturze bedeckt stehen zu lassen. Haben die Blätter ihre normale ausgebreitete Stellung angenommen (Fig. 68), so können sie zum Versuche verwendet werden.

258. Vers. Versetzt man einem Blatte einen leichten Stoß, so geht es in die Reizstellung über, d. h. die Blättchen erheben sich bis zur gegenseitigen Berührung, während sich der Winkel zwischen den sekundären Blattstielen verkleinert und der Hauptblattstiel herabsinkt (Fig. 68). Die Bewegung erfolgt ausschließlich in den Blattgelenken. Berührt man verschiedene Teile des Blattes leicht mit einem Holzstäbchen, so kann man die Stellen größter

*) Die windende Bewegung der echten Schlingpflanzen (Bohne, Hopfen etc.) ist schwierig zu erklären und noch keineswegs völlig aufgehellt. Jedenfalls beruht sie aber nicht auf einem Kontaktreiz, was schon daraus erhellt, daß die über die Stütze hinausragenden Teile gleichfalls Windungen ausführen.

Empfindlichkeit ausfindig machen. Man wird finden, daß die Unterseite des Blattpolsters schon bei leichter Berührung eine Reizbewegung des gesamten Blattes zur Folge hat. An dieser empfindlichsten Stelle finden sich einzelne Borsten, durch deren Verbiegung der Reiz auf die Zellen des Blattgelenkes ausgeübt wird (Haberlandt). Einige Minuten nach erfolgter Reizung beginnt das Blatt wieder allmählich in die Ausgangsstellung zurückzukehren und seine Reizbarkeit wieder zu gewinnen.

Fig. 68.
1. Zweig mit normal ausgebreiteten Blättern. — *2.* Derselbe Zweig nach erfolgter Berührung, Blätter in der Reizstellung. — Verkleinert. — Nach Wettstein.

Es liegt die Frage nahe, ob die Sinnpflanze auf dieselben Reize reagiert wie die untersuchten Ranken. So sehr wir geneigt sein werden, die Frage zu bejahen, da wir in beiden Fällen durch Berührung mit einem Stäbchen eine Reizbewegung auslösen konnten, wollen wir vorerst nachstehenden entscheidenden Versuch durchführen.

259. Vers. Wir richten einen Wasserstrahl aus einer Spritzflasche gegen ein ausgebreitetes Blatt. Es wird augenblicklich in die Reizstellung übergehen.

Da dasselbe Experiment bei Ranken keine Bewegung einleitete, müssen wir schließen, daß die Reizbarkeit in beiden Fällen wider Erwarten verschieden ist. Pfeffer zog aus diesen und ähnlichen Versuchen den Schluß, daß Ranken durch Berührung (Kontakt), die Blätter der Mimose hingegen durch Druck oder Stoß reizbar sind; hier wirkt jede Erschütterung oder Zerrung als Reiz, dort tritt nur bei Berührung mit einem festen und dabei rauhen Körper eine Reaktion auf.

Es ist von Interesse, daß auch unser Tastsinn beide Arten mechanischer Reizung auseinanderhält. Wir empfinden jede Berührung eines größeren Hautstückes durch einen festen oder flüssigen Körper als Druck, während wir das Gefühl des Kitzels haben, wenn man mit einem festen rauhen Gegenstande über die Haut streicht, wobei zahlreiche engbegrenzte Hautstellen durch die Erhabenheiten des Körpers deformiert, ebensolche dazwischenliegende Partien hingegen nicht oder weniger stark gedrückt werden. Diese letztere Art des Reizes ist es, welche die Ranken wahrzunehmen vermögen.

Haben wir durch unsere Versuche die Reizursache kennen gelernt, so erübrigt es jetzt noch zu untersuchen, auf welche Weise die Bewegung der Mimosenblätter zustande kommt. Alle Bewegungserscheinungen, welche wir bisher kennen lernten, beruhten mit Einschluß der Rankenkrümmung (Fitting) auf ungleichmäßigem Wachstume, wovon wir uns in einigen typischen Fällen durch direkte Messung überzeugen konnten. Würden wir hingegen die Blattgelenke der Mimose vor der Reizung markieren und messen, so könnten wir uns nach der Rückkehr des Blattes in die Ausgangsstellung leicht überzeugen, daß ein Wachstum nicht stattgefunden hat; die Bewegung in den Gelenken geht eben auch in völlig ausgewachsenen Blättern vor sich.

Einen Einblick in die Art des Bewegungsmechanismus gewinnen wir durch folgenden Versuch.

260. Vers. Wir durchschneiden den Blattstiel eines kräftigen Blattes einer Mimose mit einem scharfen Messer nahe oberhalb des Blattknotens. Der energische Wundreiz veranlaßt natürlich den Knoten, sich nach abwärts zu krümmen. Die Pflanze wird hierauf mit einem Glassturze bedeckt, bis der Knoten wieder seine ursprüngliche Ruhelage erreicht hat. Hebt man nun den Sturz ab und reizt man den Knoten neuerlich durch Berührung seiner Unterseite, so beobachtet man aus der Schnittwunde ein Flüssigkeitströpfchen hervorquellen.

Sachs und später Pfeffer schlossen aus diesen und ähnlichen Versuchen, daß die Bewegung der Mimosenblätter durch Auspressung des Wassers aus den Zellen des Blattpolsters verursacht wird. Durch den Reiz wird — wie man sich vorstellen muß — die Hautschicht des Protoplasmas der Zellen der unteren Blattpolsterhälfte für Wasser plötzlich durchlässiger, so daß die ur-

sprünglich elastisch gespannten Zellmembranen infolge Turgorverlustes der Zellen erschlaffen, während wässerige Flüssigkeit in die Interzellularen des Blattes übertritt. Die obere Hälfte des Blattpolsters dehnt sich jetzt, da der Widerstand der Gegenseite fehlt, aus, so daß sich der Blattpolster konvex nach unten biegt, was eine Senkung des Blattstieles zur Folge hat. Die beiden Gelenkhälften der Blättchen verhalten sich hingegen gerade umgekehrt; es erschlaffen die oberen Hälften des Gelenkpolsters, so daß sich die Blättchen aufrichten.

Weisen schon die bisher angestellten Versuche auf das Vorhandensein einer Reizleitung hin, so tritt diese bei folgendem äußerst anziehenden und lehrreichen Versuche noch viel deutlicher zutage.

261. Vers. Eines der Endblättchen eines Fiederblattes wird unter möglichster Vermeidung von Erschütterungen eingeschnitten oder durch die Flamme eines Zündhölzchens versengt.

Wir beobachten, wie infolgedessen von der Spitze gegen die Basis hin fortschreitend ein Blättchenpaar nach dem anderen in die Reizstellung übergeht. Nach kurzer Pause, die der Aufwärtsbewegung des letzten Blattpaares folgt, greift die Bewegung auf die an den benachbarten Sekundärstielen stehenden Blätter über und schreitet jetzt in umgekehrter Richtung gegen die Spitze fort; endlich wird auch das Gelenk des Hauptblattstieles vom Reize ereilt und das ganze Blatt sinkt nach unten. War der Reiz stark genug, so geht die Bewegung auch auf die nächstfolgenden Blätter über, ein Vorgang, der in wenigen Minuten abläuft. Daß dieses Fortschreiten der Bewegung auf einer Leitung des Reizes (genauer gesagt der Erregung) beruht, kann keinem Beobachter zweifelhaft bleiben. Diese Leitung wird aber in diesem und ähnlichen Fällen keineswegs etwa durch das Vorhandensein von „Nerven“ ermöglicht, deren Vorkommen bei Pflanzen trotz aller gegenteiligen Behauptungen niemals erwiesen wurde. An der Leitung des Reizes bei der Sinnpflanze scheint nicht einmal das lebende Protoplasma beteiligt zu sein, wie es wohl sonst zumeist angenommen werden muß, da man nachweisen konnte, daß der Reiz in diesem Falle selbst über abgetötete Blattstielpartien fortgepflanzt wird. Zahlreiche Versuche, deren Durchführung mit bedeutenden experimentellen Schwierigkeiten verbunden ist, haben es vielmehr höchst wahrscheinlich gemacht, daß die Reizleitung in unserem Falle auf einem in einem bestimmten Zellsystem erfolgenden Weiterschreiten der durch den Reiz verursachten Wasserverschiebung beruht, wodurch der Turgor der Gelenkpolster in der bereits oben auseinandergesetzten Weise verändert werden muß. (Haberlandt.)

Der hohe Grad der Reizbarkeit von *Mimosa pudica* bestimmt uns, an dieser Pflanze auch die Abhängigkeit des Reizvorganges von einigen äußeren Einflüssen zu untersuchen.

262. Vers. Wir bringen unter den Sturz, welcher eine Mimose bedeckt, von deren guter Reaktionsfähigkeit wir uns zuvor überzeugen, eine Uhrschale mit einigen Tropfen Äther. Schon nach Verlauf weniger Minuten erfolgt auf einen Stoß gegen die Blätter keine Bewegung mehr, die Blätter sind in einen Starrezustand verfallen, narkotisiert, erlangen aber ihre Reizbarkeit — falls die Ätherwirkung nicht allzulange anhielt — an der Luft bald wieder. Abhängigkeit von äußeren Einflüssen.

263. Vers. Wir unterlassen das Begießen eines Topfes so lange, bis der Boden trocken geworden, die Pflanze aber noch nicht verwelkt ist. Auch in diesem Falle unterbleibt jede Reaktion, die Pflanze ist „trockenstarr“ geworden.

264. Vers. Eine Pflanze wird im Freien bei einer Temperatur von höchstens 10° C aufgestellt. Sollte die Lufttemperatur höher sein, so stelle man den Topf ähnlich wie in Vers. 85 in eine mit kaltem Wasser gefüllte Schale und bedecke die Pflanze mit einer Glasglocke. Durch Einbringen von Eisstücken kann man leicht erzielen, daß ein innerhalb der Glocke angebrachtes Thermometer eine Temperatur von zirka 6—10° aufweist. Nach kurzer Zeit ist eine derartige Pflanze „kältestarr“ geworden. Die Reizbarkeit spielt sich eben wie jeder Lebensvorgang nur innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen ab. (Vgl. S. 75.)

Aus diesen Versuchen ist deutlich zu entnehmen, wie äußere Verhältnisse, die an sich keinen Bewegungsreiz auszulösen vermögen, dennoch in sehr wesentlichem Maße derartige Reizvorgänge zu beeinflussen imstande sind.

Aber selbst bei gleichbleibenden äußeren Lebensbedingungen ist die Wirkung eines Reizes nicht immer dieselbe.

265. Vers. Wir reizen eine Mimose in gewöhnlicher Weise und erneuern die Reizung, sobald die Blätter in die Ausgangsstellung zurückgekehrt sind. Nach mehrmaliger Wiederholung des Experiments werden wir finden, daß die Blätter, obgleich sie ihre normale Lage wieder erreicht haben, durch denselben Reiz nicht mehr zu einer Bewegung veranlaßt werden können; sie haben für längere Zeit ihre Reizbarkeit infolge „Überreizung“ eingebüßt. Gewöhnung an dauernden Reiz.

Unser Einblick in das Wesen der Reizvorgänge reicht nicht hin, diese Tatsache zu „erklären“; da aber auch in diesem Verhalten eine unverkennbare Analogie mit den bei Tieren beobachteten Reizerscheinungen vorliegt, sprechen wir auch hier von einer „Gewöhnung“ an andauernden Reiz.

Die Bewegungen, welche wie bei der Sinnpflanze durch Turgoränderungen eingeleitet werden, bezeichnet man im Gegensatze zu den Wachstumsbewegungen als Variationsbewegungen. Wenn auch bisweilen die Unterscheidung beider erhebliche Schwierigkeiten verursacht, so werden wir doch in der Regel auf eine Variationsbewegung schließen dürfen, wenn

eine Bewegung an lebenden, bereits völlig ausgewachsenen Organen zur Beobachtung kommt.

Der Unterschied zwischen beiden Bewegungserscheinungen sagt also lediglich, daß der Pflanze verschiedene Mittel zur Verfügung stehen, um eine Bewegung auszuführen: Wachstum und Turgoränderungen. Welches von beiden in einem speziellen Falle zur Anwendung kommt, hängt ausschließlich von der Natur des betreffenden Organs ab; die Veranlassung zur Bewegung kann aber in beiden Fällen genau dieselbe sein, d. h. beide können durch denselben Reiz hervorgerufen werden oder unabhängig von äußeren Veränderungen, also spontan aus „inneren", uns unbekannten Gründen eintreten.

Schlafbewegung.

Daß nicht allein der Stoßreiz eine Bewegung der Mimosenblätter bedingt, lehrt eine einfache Beobachtung. Demjenigen, welcher selbst eine Mimose kultiviert, kann es nicht entgehen, daß ihre Blättchen gegen Abend dieselbe Stellung einnehmen, als ob sie gereizt worden wären (nyktitropische Bewegung). Die nächstliegende Vermutung ist wohl die, daß in diesem Falle der Übergang vom Licht zur Dunkelheit als Bewegungsreiz wirkt. Von der Richtigkeit unserer Annahme können wir uns durch ein einfaches Experiment überzeugen.

266. Vers. Eine Sinnpflanze wird bei Tage, wenn ihre Blättchen flach ausgebreitet sind, mit einem Pappsturze, einer Kiste oder dergleichen bedeckt. Schon nach Verlauf von etwa einer Stunde beobachten wir eine beginnende Lageveränderung der Blättchen, die so lange fortschreitet, bis — nach etwa zweistündiger Verdunklung — dieselbe Stellung der Blättchen wie am Abend, die sogenannte „Schlafstellung", erreicht ist.

Derartige auffallende Bewegungserscheinungen, welche schon zu Plinius' Zeiten bekannt und von Linné in seiner berühmten Abhandlung „Somnus plantarum", der Pflanzenschlaf, beschrieben wurden, sind keineswegs nur an den wenigen Pflanzen zu beobachten, welche wie Mimose für Stoßreiz empfindliche Blätter besitzen. Wir treffen sie überaus häufig, namentlich aber an solchen Blättern an, welche wie unsere Leguminosen (Hülsenfrüchtler) Blattgelenke besitzen. (Über den durch intensives Licht hervorgerufenen Tagesschlaf vgl. S. 88.)

Als ganz ausgezeichnetes Versuchsobjekt sei die wegen ihres zierlichen, doppelt gefiederten Laubes (Fig. 69 *a*) als Zimmerpflanze sehr beliebte *Acacia Farnesiana* empfohlen, deren Blätter gegen Stoßreize nicht oder nur äußerst schwach reagieren. Sie läßt sich leicht aus Samen kultivieren und bequem im Zimmer überwintern, so daß sie das ganze Jahr zu Versuchen zur Verfügung steht.

267. Vers. Wir kultivieren zwei Exemplare, von welchem eines im vollen Lichte am Fenster stehen bleibt, während das

zweite auf irgendeine Weise verdunkelt wird. Nach zwei Stunden haben wenigstens die jüngeren Blätter der Dunkelpflanze bereits ihre Schlafstellung erreicht (Fig. 69 *b*).

So groß die Ähnlichkeit zwischen Schlafstellung und der durch Stoß veranlaßten Reizstellung der Blätter ist, unterscheiden sich beide doch so wesentlich voneinander, daß schon daraus auf einen Unterschied im Zustandekommen der beiden Lagen zu schließen ist. Während nämlich der Stoßreiz eine Erschlaffung der unteren Gelenkpolsterhälfte zur Folge hat, kann man — wie zuerst der bekannte Wiener Physiologe Brücke nachwies — bei der Schlafbewegung eine Turgorzunahme im ganzen

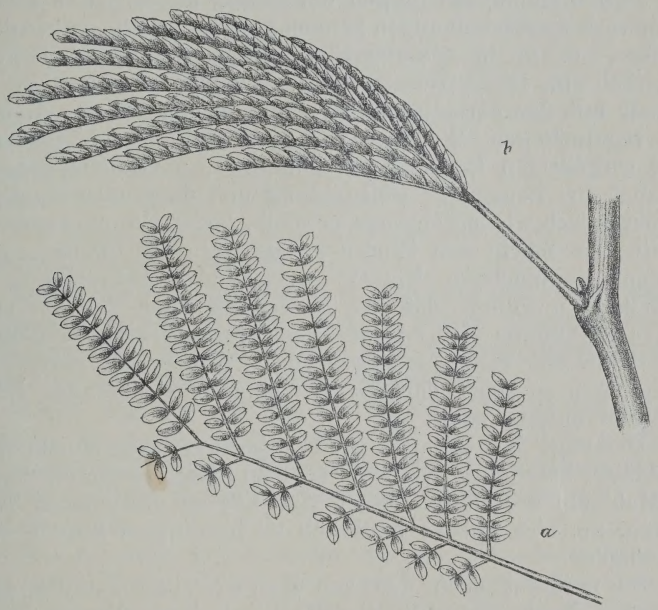


Fig. 69.

Gelenk beobachten, welche sich in einem Steiferwerden desselben äußert. Wir nehmen heute mit Pfeffer an, daß die Verdunklung zwar in beiden Gelenkhälften eine Turgorsteigerung bewirkt, daß aber diese Reaktion auf beiden Seiten ungleich schnell verläuft, wodurch die Bedingungen zur Krümmung gegeben sind, indem die begünstigte Seite stärker gedehnt, also relativ länger wird und sich daher im konvexen Bogen krümmen muß.

Die in der Schlafstellung erreichte Lage der Blättchen ist bei verschiedenen Pflanzen äußerst mannigfaltig; bald bewegen sich die Blättchen nach oben, bald nach unten, bald wieder

beteiligen sich die Blattstiele in verschiedener Weise an der Bewegung. Das angestrebte Ziel ist aber stets eine annähernd vertikale Lage der Blättchen. Darwin, welcher in seinem bekannten Werke über das Bewegungsvermögen der Pflanzen den nyktitropischen Bewegungen eine eingehende Darstellung widmete, sah in der Schlafstellung einen Schutz gegen zu weitgehende Abkühlung, welche bei horizontaler Lage infolge der nächtlichen Strahlung unzweifelhaft eintreten müßte. Zahlreiche Versuche, welche er zum Beweise dieser Vermutung in der Weise anstellte, daß er die Blätter an der Ausführung der Schlafbewegung hinderte, ergaben auch tatsächlich, daß diese Blätter bedeutend mehr unter niederen Temperaturen zu leiden hatten.

Periodische Bewegungen.

In den Schlafbewegungen der Blätter haben wir eine Gruppe von Bewegungserscheinungen kennen gelernt, welche periodisch ablaufen, d. h. in gesetzmäßig aufeinanderfolgenden Pausen wiederkehren. Diese Gesetzmäßigkeit hängt in unserem Falle offenbar mit der periodischen Wiederkehr des Reizes, d. h. mit dem regelmäßigen Wechsel von Tag und Nacht zusammen. Einer sorgfältigen Beobachtung konnte es aber nicht entgehen, daß auch bei konstanter Beleuchtung und dauernder Dunkelheit eine periodisch wiederkehrende Schließ-, bezw. Öffnungsbewegung auftritt. Es macht den Eindruck, als wäre die Pflanze so sehr an den regelmäßigen Eintritt wechselnder Beleuchtung und Dunkelheit gewöhnt, daß die Bewegung auch bei fehlendem Reiz zu bestimmter Zeit erfolgt. Diese „Nachwirkung“ regelmäßig wiederkehrender Reize erschwert das Problem der periodischen Bewegungen so sehr, daß wir von einer befriedigenden Lösung noch weit entfernt sind.

Derartige Bewegungen sind keineswegs ausschließlich auf Laubblätter beschränkt, vielmehr auch an Blüten häufig anzutreffen. Die Mehrzahl der Blüten öffnet sich nur zu bestimmten Tagesstunden, um sich ebenso pünktlich zu bestimmter Stunde wieder zu schließen.

So entfaltet nach den von Kerner in Innsbruck durchgeführten Beobachtungen die Kartoffel ihre Blüten im Juli zwischen 6—7 Uhr morgens und schließt sie um 2—3 Uhr nachmittags, während die Blütenköpfchen von *Crepis pulchra*, welche zu gleicher Zeit aufblühen, nur etwa drei Stunden geöffnet bleiben. Die als anspruchslose Gartenpflanze beliebte *Escholtzia californica* entfaltet im Juni ihre großen leuchtend gelben Blüten erst um 9—10 Uhr und beginnt bereits zwischen 3—4 Uhr zu schlafen. Das bekannte Ackerunkraut *Brassica Napus* hingegen öffnet seine Blüten im September schon zwischen 8—9 Uhr und schließt sie erst nach etwa 12 Stunden, zu einer Zeit, wo die zart duftende *Silene nutans* erst ihre Blüten entfaltet.

Um die Ursache der Bewegung zu ermitteln, ist es natürlich wie immer am zweckmäßigsten, nur einen der Faktoren, unter

deren Einfluß die Pflanze sich befindet, zu verändern. Als Versuchsobjekt dienen uns Blüten von Tulpe oder *Crocus*.

Öffnen und Schließen der Blüten.

268. Vers. Die Versuchspflanzen werden einer Temperatur von etwa 5—10° C ausgesetzt, was im Frühjahre meist einfach dadurch zu erreichen ist, daß die Blumentöpfe vor das Fenster gestellt werden. Um von der Änderung der Beleuchtung unabhängig zu sein, bedecken wir unsere Versuchspflanzen mit einem Pappsturze. Die Blüten sind ganz oder fast völlig geschlossen. Nachdem zwei annähernd gegenüberstehende Perigonblätter durch eine Tuschmarke gekennzeichnet worden sind, wird der Abstand ihrer Spitzen in den Zirkel genommen und diese Entfernung auf einem Maßstabe abgemessen. Nun bringen wir die Pflanze samt dem sie bedeckenden Sturze ins Zimmer, in welchem eine Temperatur von zirka 20° C herrscht. Alle 10 Minuten wird der Sturz abgehoben und die Entfernung der Perigonspitzen neuerlich gemessen. Schon in kürzester Zeit erfolgt eine Öffnungsbewegung der Blüten, von der man sich bald auch ohne Messung überzeugen kann. Wieder ins Freie gebracht, tritt neuerlich eine Schließungsbewegung auf. Das Experiment läßt sich tagelang mit demselben Erfolge wiederholen.

Die Bewegung wird also bei Tulpe und *Crocus* durch Temperaturänderungen veranlaßt.

Das erhaltene Resultat darf natürlich nicht ohne weiteres verallgemeinert werden. Es wird in jedem einzelnen Falle zu entscheiden sein, ob Temperatur- oder Beleuchtungswechsel das Öffnen und Schließen der Blüten bewirkt.

Bewegungsformen niederer Organismen:

Bisher war nur von den an Organen höherer Pflanzen auftretenden Bewegungen die Rede, die teils durch ungleiches Wachstum, teils durch Turgoränderungen ermöglicht werden. Damit ist aber das Bewegungsvermögen der Pflanzen noch keineswegs erschöpft.

Amöboide Bewegung.

Wenden wir uns zunächst den am einfachsten gebauten, somit auf niedrigster Entwicklungsstufe stehenden Lebewesen zu. In Gerbereien findet man auf Lohe hellgelbe faden- oder klumpenförmige Gebilde von schleimiger Beschaffenheit, die sogenannte Lohblüte, aus deren Erscheinen die Gerber auf bevorstehendes Regenwetter schließen. Diese Bildungen, denen bald tierischer, bald pflanzlicher Charakter zugeschrieben wurde, während sie manche Forscher nicht mit Unrecht für so niedrig organisiert halten, daß sie keinem der beiden Reiche zugezählt werden können, führen den Namen Plasmodien, worunter ein bestimmtes Entwicklungsstadium der Schleimpilze oder Myxomyceten zu verstehen ist. Die schleimige Beschaffenheit dieser Organismen, welche nur aus Protoplasma und Zellkernen bestehen, ist auf jeglichen Mangel einer Zellmembran zurückzuführen. Überträgt man derartige Klümpchen samt ihrer Unterlage in größere Blumen-

töpfe, so kann man sie an dunklen, feuchten Orten wochenlang frisch erhalten.

269. Vers. Ein Topf mit gut entwickeltem Plasmodium wird ans Licht gebracht und zur Erhaltung der Feuchtigkeit mit einer Glasplatte oder Glasglocke bedeckt. Nach wenigen Stunden hat sich der ganze Organismus in die Lohe zurückgezogen. Verdunklung bewirkt hingegen wieder ein Herauskriechen des Plasmodiums an die Oberfläche.

Bei sorgfältiger Beobachtung des Bewegungsverlaufes sieht man, wie sich an dem vorangehenden Teile des Plasmodiums zarte Fäden ausstrecken, die gelegentlich zu stärkeren Strängen verschmelzen, bisweilen auch wieder eingezogen werden oder sich in Äste spalten, während sich die übrige Körpermasse langsam nachschiebt. Durch dieses abwechselnde Ausstrecken feinster Verästelungen (Pseudopodien) und das Nachfließen des Protoplasmas kommt das langsame Kriechen, die amöboide Bewegung, zustande.

Die Bewegung dieser Organismen äußert sich also in einer Ortsveränderung, wie wir sie bei Tieren zu beobachten gewohnt sind. Die Bewegungsrichtung wird dabei durch mancherlei äußere Einflüsse — in unserem Falle durch Licht — bestimmt. Da man die freie — d. h. auf eine Ortsveränderung gerichtete — Bewegung pflanzlicher Organismen als Taxis bezeichnet, schreiben wir den Plasmodien negative Phototaxis, die Eigenschaft, sich von der Lichtquelle zu entfernen, zu.

Geißelbewegung.

Während die Plasmodien nur zu äußerst langsamem Kriechen auf feuchter Unterlage befähigt sind — sie legen in einer Stunde im besten Falle ca. 2 *mm* zurück — tummeln sich andere mikroskopisch kleine Organismen recht lebhaft im Wasser herum. Sie verdanken ihre Beweglichkeit dem Besitze zarter Wimpern oder Geißeln, welche bald einzeln, bald in größerer Zahl dem Plasmaleibe entspringen und durch rhythmisches Schwingen den Organismus rudernd weiterbewegen. Eine derartige Bewegung, welche den Namen Schwärm- oder Geißelbewegung führt, ist an den der Fortpflanzung dienenden Zellen wasserbewohnender Algen und Pilze, den Schwärmsporen, sehr verbreitet, aber auch an gewissen Bakterien und einzelligen Algen anzutreffen.

Wenngleich der Nachweis von Geißeln oft mit großen Schwierigkeiten verknüpft ist, so kann man sich doch schon bei schwacher Vergrößerung leicht von der lebhaften Beweglichkeit dieser Organismen überzeugen. Da jedoch auch die Beschaffung und Anzucht geeigneten Materials nicht leicht zu bewerkstelligen ist, wollen wir uns auf einen Versuch beschränken.

Schwärmsporen verschafft man sich am leichtesten, wenn man die auf feuchtem lehmigen Boden häufig auftretende Alge *Vaucheria* (identisch mit *Ectosperma*; vgl. S. 186) in ein Gefäß mit Brunnenwasser überträgt und nach einigen Tagen, nachdem

sich kräftiges Wachstum eingestellt hat, mit einem Pappsturze bedeckt. In kurzer Zeit ist das ganze Wasser infolge der massenhaft austretenden Schwärmsporen grünlich gefärbt. Gelegentlich trifft man auch in länger stehenden Pfützen oder in mit Regenwasser gefüllten Fässern grünlich gefärbtes Wasser an. Da die Färbung meistens auf dem Auftreten beweglicher Algenzellen beruht, können wir auch derartiges Material zu unserem Versuche benützen.

270. Vers. Ein Glasgefäß, welches mit schwärmsporenhältigem Wasser gefüllt ist — am besten eignet sich hierzu eine kleine pneumatische Wanne — wird in nicht zu helles, zerstreutes Tageslicht (direktes Sonnenlicht ist zu vermeiden) gebracht und derartig mit schwarzem Papier oder dergleichen bedeckt, daß nur von der nach vorn gewendeten Schmalseite Licht einfällt. Blickt man nach einigen Stunden — am besten von oben — in das Gefäß, so erscheint der dem Lichte zugekehrte Teil intensiver grün, da sich die Schwärmsporen zum einfallenden Lichte hinbewegt haben.

Vergleichen wir diese Erscheinung, welche als positive Phototaxis zu bezeichnen ist, mit dem uns bereits bekannten positiven Heliotropismus, so offenbart sich in beiden Fällen in gleicher Weise das Bestreben, sich der Lichtquelle zu nähern; in beiden Fällen wird das Licht wahrgenommen. Die Reizbarkeit ist demnach dieselbe, verschieden sind nur die zur Ausführung der Bewegung dienenden Mittel, die „Mechanik“ der Bewegung.

Wie das Licht, so beeinflussen auch Temperatur, chemische Stoffe, Schwerkraft und andere auf die Pflanze einwirkende äußere Kräfte die Bewegungsrichtung dieser einzelligen Lebewesen, wodurch sie befähigt werden, die zu ihrem Gedeihen erforderlichen Existenzbedingungen aufzusuchen.

Protoplasmaströmung.

Bei höher stehenden, aus Millionen von Zellen aufgebauten Pflanzen ist natürlich eine Ortsveränderung durch Bewegung des Protoplasmas ausgeschlossen, um so mehr, als der lebende Zelleib samt seinem Zellkern und den anderen Inhaltskörpern von einer festen Zellulosehaut umschlossen ist. Trotzdem entbehrt das Protoplasma auch in diesem Falle keineswegs des Bewegungsvermögens. In der Regel vollzieht sich freilich diese Bewegung so unendlich langsam, daß es stundenlanger Beobachtung bedarf, um nur die geringfügigste Lageänderung der Bestandteile des Zelleibes wahrzunehmen. Manche Fälle ermöglichen jedoch infolge der verhältnismäßig schnellen Bewegung des Protoplasmas schon bei 300—400maliger Vergrößerung eine genauere Beobachtung der Bewegungserscheinung.

271. Vers. Man überträgt abgeschnittene Blättchen von *Elodea* in einen auf dem Objektträger ausgebreiteten Tropfen Wasser, welches man mit Vorteil, um plötzliche Temperaturschwankungen zu vermeiden, dem Kulturgefäße, in welchem sich

die Pflanze befindet, entnimmt. Richtet man sein Augenmerk zunächst auf die mittleren Zellreihen des Blattes, so sieht man nach Verlauf weniger Minuten die smaragdgrünen Chlorophyllkörner längs der Zellwände hingleiten, indem sie durch die gleichmäßige, strömende Bewegung des farblosen und daher kaum sichtbaren Protoplasmas mitgerissen werden.

Daß die Bewegung nicht durch die Chlorophyllkörner veranlaßt wird, lassen solche Fälle erkennen, in welchen eine deutliche Strömung in chlorophyllfreien Zellen auftritt. Als geeignetes Demonstrationsmaterial empfehlen sich die großen Wurzelhaare von *Hydrocharis* oder die Brennhaare der Nessel.

(Über Bewegung der Chlorophyllkörner bei verschiedener Beleuchtung s. S. 87.)

Die Versuche über das Bewegungsvermögen der Pflanzen haben unseren Einblick in das Pflanzenleben wesentlich erweitert. Wir erblicken in der Fähigkeit zur Ausführung von Bewegungen keine vereinzelte Erscheinung; jedes Organ, jedes Zellplasma ist befähigt, seine Lage innerhalb gewisser Grenzen zu verändern. Das Bewegungsvermögen ist eine im Pflanzenreiche ebenso weitverbreitete Erscheinung wie im Reiche der Tiere; der Unterschied liegt allein darin, daß die Pflanze an Stelle der Muskelkontraktion, wie sie bei höheren Tieren anzutreffen ist, über andere, für ihre Zwecke geeignetere Mittel zur Ausführung der Bewegung verfügt. Die Bewegungsfähigkeit ist also eine ebenso allgemeine und für das Leben charakteristische Erscheinung wie der Stoffwechsel, ja wir können mit voller Berechtigung behaupten, daß es ebensowenig einen Stoffwechsel ohne Bewegung gibt, als eine Bewegung ohne Stoffwechsel denkbar ist. (Pfeffer.)

Wir haben aus unseren Versuchen aber noch eine zweite Erfahrung geschöpft. Bei den niedersten Organismen wie bei den höchstorganisierten Pflanzen geht die Mehrzahl der Bewegungen in Abhängigkeit von äußeren Einflüssen, welche als Reize auf die Pflanze einwirken, vor sich, wodurch sie erst die Bedeutung von zweckmäßigen Bewegungen erlangen. Auch die Reizbarkeit stellt somit eine allgemeine Eigenschaft des lebenden Protoplasmas dar, welches dadurch befähigt wird, auf veränderte Einflüsse in (zumeist) zweckentsprechender Weise zu reagieren. Neuere Untersuchungen machen es sogar im hohen Maße wahrscheinlich, daß die Pflanzen selbst bezüglich des Grades der Reizempfindlichkeit den Tieren nicht nachstehen (Fitting); die Trägheit des Verlaufes eines pflanzlichen Reizvorganges ist es hauptsächlich, welche den Anschein der geringen Reizbarkeit des Pflanzenorganismus erweckt.

Aufgaben.

1. Es ist zu untersuchen, ob sich auch Blätter (zum Beispiel von *Allium Cepa*) aus horizontaler Lage negativ geotropisch aufzurichten vermögen. Bestimme die Zeit, welche bis zum Krümmungsbeginne erforderlich ist.

2. Welches Gewicht vermag ein Stengel bei der geotropischen Krümmung zu heben? (Die Pflanze ist umgekehrt vertikal nach abwärts aufzustellen; an der Spitze wird eine Fadenschlinge befestigt, an welcher verschieden große Gewichte angebracht werden.)

3. Der Geotropismus ist oft an ein bestimmtes Entwicklungsstadium gebunden; so kann man zum Beispiel häufig beobachten, daß sich nickende Blüten nach dem Verblühen negativ geotropisch aufrichten. Suche nach Beispielen.

4. Es ist an Keimlingen der Nachweis zu erbringen, daß die heliotropische Krümmung eine Wachstumskrümmung ist. *a*) Zeige, daß die Stelle der Krümmung mit der Zone des stärksten Wachstums zusammenfällt. (Vgl. Vers. 242.) *b*) In sauerstofffreiem Raume unterbleibt die Krümmung. (Vgl. Vers. 226.)

5. Untersuche, ob im Dunkeln gezogene und kurze Zeit (30—50 Minuten) einseitig beleuchtete Keimlinge (Bohnen, Wicken), neuerlich verdunkelt, eine heliotropische Nachwirkung zeigen. (Vgl. Vers. 240.)

6. Warum richten sich vertikal abwärts gerichtete und einseitig beleuchtete Pflanzen (Balsamine, Bohnen) schneller auf als gleich gerichtete verdunkelte Pflanzen? (Zusammenwirken von Geo- und Heliotropismus.)

7. Kultiviere Bohnen ohne und mit verschieden stark geneigten Stützen. Beobachte das Verhalten des windenden Stengels.

8. Suche Ranken von Kürbis oder Passionsblume (*Passiflora*) durch Reiben mit einem Stäbchen zu reizen. Sind alle Seiten der Ranke in gleicher Weise empfindlich?

9. Schneide eine Ranke durch und beobachte, ob durch eine derartige Verwundung eine Krümmungsbewegung derselben veranlaßt wird. (Vgl. Darwinsche Krümmung.)

10. Versuche eine geschlossene Tulpenblüte mit Äther zu narkotisieren und beobachte, ob sie sich in der Wärme öffnet. (Vgl. Vers. 268.)

11. Beobachte die Form der nyktitropischen Bewegung an den Blättern von Wiesenklee, Sauerklee, Bohnen etc.

12. Welchen Einfluß hat Licht und Temperaturänderung auf Öffnen und Schließen der Blüten, bezw. Blütenköpfchen von *Escholtzia*, *Convolvulus*, *Leontodon?*

Fortpflanzung und Vermehrung.

Lebensdauer.

Das Lebensalter, welches die Pflanzen erreichen, ist außerordentlich verschieden; währt die Lebensdauer niederorganisierter Organismen (einzellige Pilze) nur Stunden oder Tage, so treffen wir bei gewissen Bäumen (Eichen, Linden, Mammutbäumen etc.) das entgegengesetzte Extrem an; ihr Alter zählt nach Jahrhunderten, selbst nach einigen Jahrtausenden. Die krautige Pflanze stirbt in demselben Jahre ab, in welchem sie zu keimen begonnen (einjährige Pflanze), oder durchläuft ihr Dasein in zwei Jahren (zweijährige Pflanze). In jedem Falle geht sie aber erst nach erreichter Blüten- und Fruchtbildung zugrunde, so daß wir in gewissen Fällen durch künstliche Verhinderung der Blütenbildung ihre Lebensdauer verlängern können.

272. Vers. 1. Samen von *Campanula Medium* oder *Digitalis* werden im Sommer in ein Holzkistchen locker ausgesät und ständig feucht gehalten. Eine Anzahl kräftigerer Pflänzchen wird sodann im Frühherbste ins Freiland übersetzt, während die übrigen an Ort und Stelle verbleiben; diese werden erst im kommenden Frühjahre ausgesetzt. Während erstere blühen und nach der Fruchtbildung absterben, kommt es bei letzteren in demselben Jahre zu keiner Blütenbildung, doch wurde ihre Lebensdauer um ein volles Jahr verlängert.

2. Sämtliche Blütenknospen eines Resedastockes werden in möglichst frühem Stadium regelmäßig ausgeschnitten. Die normal einjährige Pflanze läßt sich mehrere Jahre am Leben erhalten.

Die ausdauernden „Stauden“ (Perennen) scheinen wohl auch jährlich abzusterben. Es gehen jedoch nur ihre oberirdischen Organe zugrunde, sie „ziehen ein“, während die im Boden befindlichen Wurzelstöcke, Knollen oder Zwiebel jahrelang am Leben bleiben und alljährlich neu austreiben.

Nur bei den Holzgewächsen, Sträuchern und Bäumen, vermögen auch die oberirdischen Organe, wenigstens Zweige und Knospen, bei Immergrünen auch die Blätter die Zeit der Vegetationsruhe zu überdauern. Trotz der sich jährlich oder in bestimmten Perioden einstellenden Blüten- und Fruchtbildung wird

die Weiterentwicklung nicht beeinträchtigt. Aber auch ihnen ist nur eine beschränkte Lebensdauer beschieden.

In allen besprochenen Fällen wird durch die Bildung von Früchten und Samen für die Erhaltung der Art gesorgt. Jeder Same ist aber nur ein abgelöster und zu selbständiger Entwicklung befähigter Teil des Mutterorganismus. Ist daher auch das Leben des einzelnen Individuums ein zeitlich begrenztes, es lebt — wie man sich ausgedrückt hat — in seinen Nachkommen weiter. (Gesetz von der Kontinuität des Lebens.)

Latentes Leben.

Es könnte die Frage aufgeworfen werden, ob denn der reife, trockene Same als etwas „Lebendes“ zu bezeichnen ist oder ob nicht vielmehr das Leben erst dann in den Samen einkehrt, wenn er nach erfolgter Quellung zu keimen beginnt? In diesem Falle wäre allerdings die Kontinuität keine vollkommene. Einige Versuche sollen uns einen Anhaltspunkt zur Beurteilung dieser schwierigen Frage geben.

273. Vers. Trockene Samen werden in ein gut verschließbares Gefäß gebracht, in welchem einige cm^3 Äther zur Verdunstung gebracht werden (10 cm^3 pro 1 l Luftraum). Der Äther wird unter Vermeidung einer direkten Benetzung der Samen auf einen in das Gefäß eingebrachten Watte- oder Fließpapierbausch aufgetropft. Derselbe Versuch wird gleichzeitig mit 24 Stunden lang eingequollenen Samen durchgeführt. Nach einem Tage werden die Samen auf 24 Stunden in wiederholt gewechseltes Wasser gebracht und hierauf wie gewöhnlich auf Filterpapier zum Keimen ausgelegt.

Die im gequollenen Zustande ätherisierten Pflanzen sind ihrer Keimfähigkeit verlustig geworden, während die trockenen keine Benachteiligung erfahren haben. (Untersuche zur Kontrolle die Keimfähigkeit nicht ätherisierter Samen.)

Bedenkt man überdies, daß trockene Samen die niedersten sowie verhältnismäßig hohe Temperaturen ohne Verlust ihres Keimungsvermögens vertragen können, so scheint sich allerdings die Vermutung zu bestätigen, daß die trockenen Organismen überhaupt keine lebenden Organismen seien, sondern erst durch den Zutritt von Wasser zum Leben erwachen. Gegen diese Auffassung lassen sich aber gewichtige Bedenken erheben. Daraus, daß trockene Samen keine Lebenstätigkeit erkennen lassen, ist ebensowenig auf mangelndes Leben zu schließen wie etwa aus dem Stillstehen eines Uhrwerkes auf eine Beschädigung oder gar auf das Fehlen ihres Mechanismus. Es ist ganz gut vorstellbar, daß auch dem trockenen Samen ein Leben innewohnt, eine Lebensäußerung jedoch unter den herrschenden Verhältnissen nahezu ganz oder völlig unterbleibt. Diese Annahme wird um so wahrscheinlicher, wenn man bedenkt, daß das Leben, wie wir gesehen haben, mit einer Kette chemischer Stoffwechselvorgänge verknüpft ist, eine Wechselwirkung chemischer Substanzen jedoch

in der Regel nur dann möglich ist, wenn wenigstens eine derselben sich in Lösung befindet.

Wir werden um so mehr zur Annahme gedrängt, daß auch im trockenen Samen, wenngleich in nicht nachweisbarem Grade, Stoffwechselvorgänge, also Leben (vita minima), vor sich gehen müssen, als es sonst nicht einzusehen wäre, aus welchem Grunde in trockenen Samen die Keimfähigkeit im Laufe von Wochen (Pappeln) oder einigen Jahren (Getreide) erlischt. Wir pflegen daher den Samen ein „latentes", d. h. nicht in Erscheinung tretendes Leben, welches durch Aufnahme von Wasser „aktiviert" wird, zuzuschreiben. (Für die Anschauung, daß im lufttrockenen Zustande nur jede Lebensäußerung unmöglich ist, ohne daß das Leben als solches erlischt, lassen sich auch eine Reihe von anderen Erfahrungen anführen, wie z. B. das Verhalten von *Selaginella lepidophylla*, der Auferstehungspflanze, welche, nach elfjährigem Liegen im Herbarium neuerlich befeuchtet, imstande war, sich neu zu bewurzeln.)

Befruchtung und Samenbildung.

Es fragt sich nun, aus welchen Teilen der Blüte die Samen hervorgehen. Schon die Beobachtung gibt uns hinreichenden Aufschluß. Durchschneiden wir einen Fruchtknoten aus irgendeiner Blüte (Mohn, Lilie etc.), so lassen sich stets in der Fruchtknotenhöhle ein bis zahlreiche äußerst kleine weiße Gebilde erkennen, die Samenanlagen. Wie der Name sagt und wie wir uns am heranwachsenden Fruchtknoten leicht überzeugen können, werden diese Anlagen unter allmählicher Vergrößerung und mancherlei Veränderungen zu den Samen, während aus dem Gehäuse des Fruchtknotens gelegentlich auch unter Beteiligung anderer Blütenteile die Fruchtwand entsteht.

Bedeutend schwieriger gestaltet sich hingegen die Beantwortung der Frage, welcher Anstoß zur Entwicklung von Frucht und Same führt, da ja in der Regel bekanntlich keineswegs alle Blüten einer Pflanze Früchte ausbilden, vielmehr großenteils nach dem Verblühen abfallen.

Es blieb Camerarius am Ende des XVII. Jahrhunderts vorbehalten, den experimentellen Beweis zu erbringen, daß zur Bildung der Samen eine Übertragung des Blütenstaubes von den Staubfäden auf die Narbe erforderlich ist. Dadurch war auch der exakte Nachweis der Sexualität der Pflanze erbracht, allerdings ohne daß sich zunächst diese Anschauung allgemeine Anerkennung verschafft hätte. Zu einem Gemeingut der Wissenschaft wurde sie erst mehr als ein halbes Jahrhundert später, durch die Autorität eines Linné.

Wir wollen uns durch ein einfaches Experiment selbst von der Notwendigkeit des Blütenstaubes zur Samenbildung, also von der Existenz einer Befruchtung überzeugen.

274. Vers. Zu unserem Versuche benützen wir *Alnus*, *Corylus* oder am bequemsten *Juglans* (im Sommer Begonien), und zwar

unmittelbar vor Beginn des Stäubens der Kätzchen. Wir suchen die unscheinbaren weiblichen Blüten auf. Sie sind bei *Juglans* dank ihrem verhältnismäßig großen, mit zwei sitzenden Narben versehenen Fruchtknoten leicht zu finden. Ein Zweigstück mit derartigen Blüten wird nun locker, so daß die Blüten nicht in der Entwicklung behindert werden, mit einem befeuchteten Pergamentpapier (oder besser mit feiner Seidengaze) umhüllt und dieses mit einem Bindfaden befestigt. Eine Anzahl anderer Blüten wird durch färbige Fäden oder dergleichen gekennzeichnet. Sobald die Kätzchen dieses oder eines benachbarten Baumes zu stäuben beginnen, pflückt man eines derselben ab und entleert den Blütenstaub durch sanftes Klopfen unmittelbar über den bezeichneten Blüten. Man kann auch mit Hilfe eines Pinsels über die Kätzchen hinstreichen, um Blütenstaub zu sammeln und ihn hierauf an den Narben abstreichen. Schon nach wenigen Wochen wird man erkennen, daß die „bestäubten" Fruchtknoten heranwachsen, während die vor Zutritt von Blütenstaub geschützten Fruchtknoten bald zugrunde gehen und abfallen.

Daß der Blütenstaub gerade auf die Narbe und nicht etwa auf einen beliebigen Teil des Stempels kommen muß, um eine Samenbildung zu veranlassen, können wir etwa an Schwertlilien leicht beweisen.

275. Vers. 1. Sobald sich eine Blüte öffnet, schneidet man, um leichter zur Narbe zu gelangen, die drei inneren, kuppelförmig nach oben zusammenneigenden Perigonblätter an ihrer Basis ab und entfernt auf gleiche Weise die Staubgefäße, welche unter den drei großen blattähnlichen Griffelteilen verborgen stehen. Jeder von diesen geht in zwei Zipfel aus, unter welchen ein quer verlaufender Saum, die Narbentasche, gelegen ist. Man sammle nun mit einem Pinsel Blütenstaub einer benachbarten Blüte und übertrage ihn in einem Falle auf die Oberseite der Griffelteile, in einer anderen Blüte streife man ihn an der Narbentasche ab. Nur in diesem Falle erfolgt eine Befruchtung, wie man an dem Heranwachsen des Fruchtknotens erkennt.

2. Schneide in verschiedenen Blüten (z. B. *Hyacinthus candicans*, *Escholtzia* etc.) vor dem Stäuben der Staubgefäße die Narben ab. Nach dem Verblühen fallen die ganzen Blüten ab, während die nicht operierten reichlich Samen entwickeln.

Die Erkenntnis der Notwendigkeit des Pollens für die Befruchtung veranlaßte sofort eine ganze Fülle neu auftauchender Fragen. Wie wird zunächst die Befruchtung vollzogen? Man glaubte lange, daß die auf die Narbe gelangten Blütenstaubkörnchen (Pollen) platzen und ihr Inhalt in diese eindringe. Erst die eingehendsten anatomischen Untersuchungen konnten Klarheit verschaffen. Amici war die wichtige Entdeckung gelungen (1823), daß der Pollen befähigt ist, zu Schläuchen auszutreiben

und daß diese den Griffel durchwachsend bis an die Samenanlagen heranwachsen.

276. Vers. 1. Blütenstaub von Hyazinthen, Tulpen, Narzissen wird mit einem Pinsel oder einer befeuchteten Nadel auf einen Objektträger in einen Tropfen einer 10% Zuckerlösung übertragen und mit einem Deckgläschen bedeckt. Schon nach wenigen Tagen erkennt man bereits bei halbwegs starker Lupenvergrößerung, besser natürlich im Mikroskop, die zarten Schläuche, zu welchen die Pollenkörner ausgewachsen sind.

2. Pollen in Wasser übertragen keimt nicht, geht vielmehr bei den meisten Pflanzen rasch zugrunde, indem er durch übermäßige Wasseraufnahme platzt, weshalb auch der Blütenstaub vielfach vor Benetzung geschützt wird (Überhängen der nickenden Blüten, Schließen der Blüten bei feuchter Witterung, Bergung der Staubgefäße unter blattartigen Narben, Bildung zahlreicher Staubgefäße, die zu verschiedenen Zeiten stäuben [Obstbäume]).

Auf Grund dieses Verhaltens des Pollens liegt die Vermutung nahe, daß sich auch auf der Narbe eine Substanz vorfindet, welche ein Auskeimen des Blütenstaubes ermöglicht.

277. Vers. Die feucht glänzenden Narben einiger Lilienblüten (*Lilium candidum* u. a.) werden abgeschnitten und in einer Eprouvette mit ganz wenig Wasser abgespült. Versuche Zucker nachzuweisen. (Vgl. Vers. 27.)

Die ausgebildete, empfängnisreife Narbe scheidet häufig eine zuckerhältige Flüssigkeit ab. Da auch im Innern des Narbengewebes sowie von den Samenanlagen Zucker abgeschieden wird und die Pollenschläuche dieser Substanz gegenüber positiv chemotropisch (vgl. S. 201) reagieren, wird es verständlich, daß die Pollenschläuche zu den Samenanlagen hingelenkt werden. Neben Zucker werden aber von den Narben noch andere, ihrer Natur nach wenig bekannte Stoffe abgeschieden, welche vielfach zur Keimung des Pollens derselben Art unerläßlich sind, während sie fremdartigen Pollen, der zufällig auf die Narbe gelangte, am Auskeimen verhindern, so daß dieser in den Griffel nicht einzudringen vermag.

Hat der Pollenschlauch sein Ziel, die Samenanlage, erreicht, so wird das Ende des Schlauches aufgelöst, wodurch es dem männlichen Zellkerne ermöglicht wird, denselben zu verlassen und mit der membranlosen Eizelle, der weiblichen Zelle, zu verschmelzen. Die Befruchtung erscheint hiermit vollzogen. Bald darauf stellen sich in der Blüte eine Reihe bedeutungsvoller Veränderungen ein. Durch lebhafte und gesetzmäßige Teilungen der befruchteten Eizelle entwickelt sich die junge Pflanze, der Embryo, an welchem bereits deutlich Würzelchen, Sproß- und Blattanlagen zu erkennen sind. Gleichzeitig wachsen auch die übrigen Teile der Samenanlagen heran, während die jetzt überflüssig gewordenen Blütenteile (Blumenblätter, Staubgefäße)

zumeist bald nach vollzogener Befruchtung abgeworfen werden. Im Samen entsteht ein besonderes Nährgewebe (Endosperm) oder es übernehmen die ersten Blätter dessen Aufgabe, indem sie sich mit Reservestoffen füllen, welche dem keimenden Samen als erste Nahrung dienen. Die äußeren Hüllen der Samenanlagen wandeln sich in die meist derbe Samenhaut um. Auch in den Geweben des Fruchtknotens machen sich mancherlei Veränderungen und ein gesteigertes Wachstum geltend, wodurch das so mannigfaltige, bald trockene, bald saftige Gehäuse entsteht, welches im Vereine mit den eingeschlossenen Samen gemeinhin als Frucht bezeichnet wird.

Die Befruchtung besteht also zunächst darin, daß zwei Zellen, genauer gesagt zwei Zellkerne, miteinander verschmelzen. Durch die Teilung der befruchteten Eizelle werden immer neue Zellen gebildet, die sich ihrerseits wieder zu teilen vermögen, wodurch das Wachstum des Pflanzenkörpers eingeleitet wird. Wenngleich von einem gewissen Entwicklungsstadium an nur bestimmte Zellgruppen, die Meristeme (vgl. 168), das Geschäft der Teilung allein übernehmen, so entstammen doch in letzter Linie die nach Millionen zählenden Zellen, welche die Pflanze aufbauen, sämtlich der befruchteten Eizelle. Da erfahrungsgemäß die Nachkommen einer Pflanze stets der Mutterpflanze gleichen, die Eigenschaften einer Pflanze mit anderen Worten erblich festgehalten sind, müssen wir annehmen, daß die bei der Befruchtung verschmelzenden Zellkerne die Träger der erblichen Eigenschaft darstellen.

Bestäubung.

Wir haben bisher die Bestäubung künstlich durch Übertragung des Blütenstaubes auf die Narbe vollzogen. Welche Mittel stehen nun der Pflanze zu diesem Behufe unter natürlichen Verhältnissen zu Gebote?

Die Beantwortung dieser Frage scheint in den meisten Fällen keine Schwierigkeit zu bereiten. Staubgefäße und Stempel stehen ja bei den meisten Pflanzen in einer Blüte nebeneinander (Zwitterblüten), so daß eine Ablagerung des Blütenstaubes auf der Narbe leicht vor sich gehen kann, sei es, daß die Narbe gelegentlich die Staubgefäße berührt oder der Blütenstaub auf die tiefer stehende Narbe herabfällt.

278. Vers. Blüten von *Papaver* werden unmittelbar vor ihrer Entfaltung locker in ein Gazesäckchen eingeschlossen (vgl. Fig. 70), so daß die Blüten sich ganz selbst überlassen sind. (Zur Kontrolle bleiben andere Blüten frei.)

Wir finden in einigen Wochen, daß der Fruchtknoten deutlich anschwillt; schließlich entwickeln sich reife Samen, ein Beweis für die erfolgte „Selbstbestäubung“ (Autogamie). Die zahlreichen, die Narben dicht umgebenden Staubbeutel springen eben hier schon, ehe die Blüte sich öffnet, auf und bedecken die Narbenlappen mit Blütenstaub.

Fig. 70.

279. Vers. Ein Blütenstand von *Antirrhinum* wird wie in Fig. 70 in ein Gazesäckchen gehüllt, während andere frei bleiben. (Der Versuch ist am besten im Freien durchzuführen.) Nur diese setzen Früchte an, während die umhüllten Blüten bald nach dem Verblühen abfallen.

In diesem Falle ist also Selbstbestäubung ausgeschlossen, was begreiflich erscheint, wenn wir die gegenseitige Stellung von Staubbeuteln und Griffeln in der Blüte untersuchen. Einen solchen Fall haben wir auch schon bei *Iris* kennen gelernt, wo die Staubgefäße unterhalb der Narbe zu liegen kommen und noch dazu die Staubbeutel nach außen wenden. Bei genauerer Untersuchuug verschiedener Blüten finden wir sogar, daß eine Selbstbestäubung viel seltener möglich ist als es den Anschein hatte. Bald wird sie durch die Stellungsverhältnisse von Staubgefäßen und Stempeln zur Unmöglichkeit, bald ist der Blütenstaub längst verstäubt, wenn die Narbe sich erst auszubreiten beginnt (vormännige oder proterandrische Blüten, z. B. bei Glockenblumen), oder es ist die Narbe vollkommen entwickelt, ehe der Pollen entlassen wird (vorweibige oder proterogyne Blüten, z. B. bei *Plantago media*, wo die Griffel schon zu einer Zeit sichtbar sind, wenn die Blüte noch den Eindruck einer Knospe macht).

In diesen Fällen muß die Bestäubung jedenfalls in anderer Weise vermittelt werden. Dasselbe gilt natürlich in noch höherem Maße für Pflanzen mit eingeschlechtlichen Blüten, das heißt solchen, welche nur Staubgefäße oder nur Stempel besitzen. Die Fortpflanzungsorgane sind hier räumlich weit voneinander getrennt, sei es, daß beide Blütenarten auf demselben Individuum zur Entwicklung kommen (einhäusig oder monöcisch, zum Beispiel *Zea*, *Juglans*, *Betula*), sei es, daß sie auf zwei Pflanzenindividuen verteilt sind (zweihäusig oder diöcisch, zum Beispiel Hopfen, Weiden, *Acer Negundo*).

Bei der Übertragung des Pollens kommen, wie wir uns leicht überzeugen können, hauptsächlich zwei Vermittler in Betracht: Wind (windblütige Pflanzen) und Insekten (insektenblütige Pflanzen).

Daß der Wind eine Bestäubung vermitteln kann, folgt schon aus der leicht anzustellenden Beobachtung, daß schon bei ge-

ringer Erschütterung der Blütenkätzchen von Hasel, Birke, Walnuß etc. ganze Wolken von Blütenstaub entleert werden, welche sich in der Luft verbreiten und unfehlbar an jedem Gegenstande, namentlich aber an den Narben, welche aus den weiblichen Blüten hervorragen, haften bleiben, zumal diese zumeist wie zierliche Bürstchen (Walnuß), Pinseln oder Federchen (Gräser) ausgebildet und dadurch geeignet sind, den feinen Blütenstaub, der in ungeheurer Menge gebildet wird, aufzufangen.

Während wir auf den unscheinbaren Blüten der auf Windbestäubung angewiesenen Pflanzen fast niemals Insektenbesuch beobachten können, um so weniger, als wenigstens die Mehrzahl der Holzgewächse unter ihnen schon zu einer Zeit blüht, wo die Zahl der Insekten noch äußerst gering ist, finden wir die Blüten unserer Obstbäume, die „Blumen" auf Feld und Wiese umschwärmt von Bienen und Hummeln, von Schmetterlingen und Käfern. Beobachten wir diese Blütengäste näher, so können wir sehen, wie sie bald Blütenstaub verzehren, bald den oft reichlich ausgeschiedenen Blütenhonig (Nektar) saugen. Fliegen sie wieder von der Blüte weg, dann sind sie je nach der Blüte, welche sie aufsuchten, bald auf den Beinen, bald auf Kopf und Rücken vom Blütenstaub wie bepudert. Suchen sie benachbarte Blüten auf, so streifen sie wieder einen Teil des Pollens auf den Narben ab, wodurch sie zu Vermittlern der Bestäubung werden.

Die Notwendigkeit der Mithilfe von Insekten zur Übertragung des Pollens war bereits von Ch. Konrad Sprengel erkannt, in seinem berühmten Werke: „Das entdeckte Geheimnis der Natur" (1793) mitgeteilt, aber wieder in Vergessenheit geraten, bis Darwin neuerlich die allgemeine Aufmerksamkeit auf diese merkwürdige Beziehung zwischen Blumen und Insekten lenkte. Von diesem Gesichtspunkte aus lernte man erst zahlreiche Eigentümlichkeiten im Bau der Blüten und Insekten deuten, welche vorher völlig unerklärlich schienen.

Die unerschöpfliche Mannigfaltigkeit wechselseitiger Anpassungen schildern, hieße die Vielgestaltigkeit der Blumen und Insekten beschreiben. Dieses anziehende Studium fällt bereits aus dem Rahmen der Physiologie, es bildet den Gegenstand einer eigenen Disziplin, der Blütenbiologie. Es soll hier nur darauf hingewiesen werden, daß der Pollen der „Insektenblütler" meist klebrig erscheint und vielfach mit mikroskopisch kleinen Wärzchen und Stacheln besetzt ist, wodurch er leicht am behaarten Insektenkörper haften bleibt. Der Bau der Blüten, die Stellung der Fortpflanzungsorgane ist derart, daß nur bestimmte, zur Bestäubung geeignete Insekten Zutritt finden und sich dabei unvermeidlich mit Blütenstaub beladen, den sie ebenso sicher wieder beim Besuche anderer Blüten auf deren Narben ablagern. Es sei nur noch, um eine Vorstellung von der Mannigfaltigkeit der Bestäubungseinrichtungen zu geben, erwähnt, daß in manchen

Fällen die Fortpflanzungsorgane im Interesse der Pollenübertragung mit Reizbarkeit und Bewegungsvermögen ausgestattet sind. Wir benützen zu unserem Versuche die Blüten irgendeiner *Centaurea*-Art, am besten von *Centaurea jacea* oder *Centaurea americana*. Wird eine Blüte dem Köpfchen entnommen und die Kronenröhre mit feiner Schere aufgeschlitzt, so findet man fünf Staubfäden vor (Fig. 71 *f*; in der Fig. sind die drei vorderen Staubfäden abgeschnitten), deren Staubbeutel (*st*) zu einer Röhre (Antherenröhre) zusammenschließen, welche vom Griffel (*g*) durchsetzt wird. Die Staubfäden sind dort, wo die Krone sich nach unten hin verengt, an dieser angewachsen.

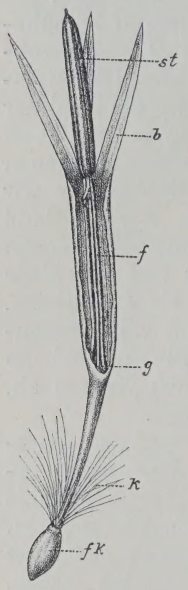


Fig. 71. Blüte von *C. americana* 3mal vergrößert Vorderer Teil der Kronenröhre abpräpariert. *fk* Fruchtknoten, *k* Kelch, *b* Blumenkrone.

280. Vers. 1. Wir entnehmen dem Blütenköpfchen mehrere Blüten und durchschneiden sie quer oberhalb der Ansatzstelle der Staubfäden an der Kronenröhre. Jetzt wird die Krone abgestreift, während wir die Antherenröhre mit einer Pinzette festhalten. Wir erhalten so von der Blüte getrennt die fünf Staubgefäße und den dazwischen befindlichen Griffel. Das Ganze wird auf eine Korkplatte gelegt, mit einem Glasplättchen bedeckt, so daß die Staubfäden frei abstehen (Fig. 72), und mit einem Glassturze überdeckt. Nach etwa 5—10 Minuten nehmen die Staubfäden die Lage wie in Fig. 72 *A* ein. Verbiegen wir nun diese mit einer Nadel, so krümmen sie sich energisch zurück (Fig. 72 *B*). Nach wenigen Minuten kehren sie wieder in die Lage *A* zurück, wobei sie neuerlich reizbar geworden sind.

2. Wir wiederholen den Versuch an einer unversehrten Blüte, indem wir eine Borste oder Nadel in die Kronenröhre einführen. Durch die Krümmung der Staubgefäße wird die ganze Blüte nach der Seite hin gebogen, welche gereizt wurde, indem die gereizten Staubfäden, wie auch der vorige Versuch erkennen läßt, sich auf ihrer Außenseite stärker als auf der Innenseite verkürzen.

Die Folge davon ist, daß die Antherenröhre herabgezogen wird, der Griffel mithin aus ihr weiter hervorragt. Da dieser im oberen Teile mit kleinen steifen Härchen dicht besetzt ist, fegt er den in die Staubbeutelröhre entleerten Blütenstaub aus dieser hinaus. Hat man zum Versuche eine eben erst entfaltete Blüte verwendet, so kann man nach erfolgter Reizung das Hervortreten des Blütenstaubes leicht wahrnehmen. Senkt

ein Insekt auf der Suche nach Nektar seinen Rüssel in den Grund der Kronenröhre, so stößt es unvermeidlich auf die mit steifen Härchen versehenen Staubfäden; indem diese sich infolge des ausgeübten Reizes verkürzen, tritt der Pollen in der oben beschriebenen Weise aus, wodurch das Insekt mit Blütenstaub beladen wird, welchen es auf älteren Blüten, an denen die beiden Narbenschenkel bereits auseinanderspreizen, wieder abstreift; dadurch wird es zum Bestäubungsvermittler.

Eine Frage harrt noch der Beantwortung: Was veranlaßt die Insekten, die Blüten zu besuchen oder — mit anderen Worten — wodurch werden die Insekten angelockt? Die Tatsache, daß die der Insektenbestäubung unterliegenden Blüten durch Geruch und Farbe besonders ausgezeichnet sind, gibt einen Anhaltspunkt, die Frage zu lösen. Vermutlich sind es gerade diese Eigenschaften, durch welche die Insekten angelockt werden. Daß der Geruch dabei tatsächlich eine Rolle spielt, geht schon daraus mit ziemlicher Sicherheit hervor, daß zum Beispiel die nach Aas riechenden Blüten vorzugsweise von Fliegen, die honigduftenden von Bienen aufgesucht werden, daß die von Dämmerungsfaltern bestäubten Blumen (Geißblatt, *Silene nutans*) erst abends zu duften beginnen u. a. m.

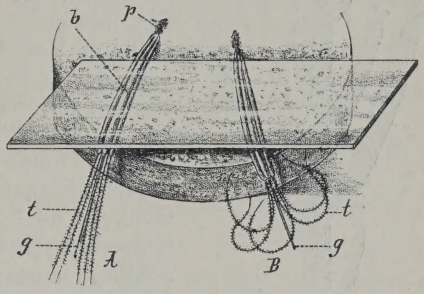


Fig. 72.
Staubgefäße von *C. americ.* *g* Griffel, *t* Staubfäden, *b* Staubbeutel, *p* Pollen. *A* ungereizt; *B* gereizt.

281. Vers. Die Blüten von *Antirrhinum maius* besitzen auf der Unterseite der Kronenbasis eine kleine sackartige Erweiterung, in welcher sich der ausgeschiedene Honig ansammelt. Schneide diese Stellen bei einer Anzahl von Blüten heraus und beobachte, ob auch diese ihres Honigs zum größten Teile beraubten Blüten von Bienen besucht werden.

282. Vers. Mache dieselbe Beobachtung an einer größeren Anzahl von Birnen-, Kirschen- oder Mandelblüten, die ihrer Blumenblätter beraubt wurden, wobei der im Grunde der Blüten ausgeschiedene Blütenhonig unversehrt bleibt.

Die Frage, ob bei der Anlockung der Insekten der Geruch oder die Blütenfarbe eine größere Rolle spielt, ist noch keineswegs entschieden. Man pflegt in der Regel anzunehmen, daß der Geruch auf größere Entfernungen hin, die Farbe auf nähere Distanzen wahrgenommen werde.

Selbst- und Fremdbestäubung.

Es muß überraschen, daß selbst Pflanzen mit Zwitterblüten, wo beide zur Fortpflanzung notwendigen Organe knapp nebeneinanderstehen, auf Fremdbestäubung angewiesen sind.

Ja selbst bei solchen Arten, bei welchen eine Selbstbestäubung möglich ist, scheint oft die Belegung der Narbe mit fremden Pollen bevorzugt zu sein, insofern, als erst bei ausbleibender Insektenbestäubung eine Selbstbestäubung eintritt.

283. Vers. Beobachte die Stellung der Staubgefäße und Griffel während der Blütenentfaltung von *Cobaea scandens*.

Die Staubgefäße sind bei der Öffnung der Blüte S-förmig gekrümmt und so gestellt, daß ein die Blüte besuchendes Insekt unvermeidlich die Staubbeutel streifen muß. Unterhalb dieser liegt das Ende des scharf nach abwärts gekrümmten Griffels. Bald verlängern sich die Staubfäden und drehen sich lockenförmig ein, während sich der gleichfalls beträchtlich herangewachsene Griffel hebt, so daß jetzt die drei weit auseinander spreizenden Narben an dieselbe Stelle rücken, welche vorher die Staubbeutel innehatten. Ein mit Blütenstaub beladenes Insekt müßte jetzt beim Blütenbesuch an diesen den Pollen abstreifen. Vor dem Verblühen krümmt sich nun der Griffel zusammen, wodurch die Narben in unmittelbare Berührung mit den noch immer Blütenstaub enthaltenden Staubbeuteln kommen, so daß bei ausbleibendem Insektenbesuch an Stelle der Wechselbestäubung noch immer Selbstbestäubung eintreten kann (Kerner). Nach all diesen Beobachtungen scheint die Wechselbestäubung eine bevorzugte Stellung einzunehmen. Sie muß offenbar der Mehrzahl der Pflanzen irgendeinen Vorteil bieten.

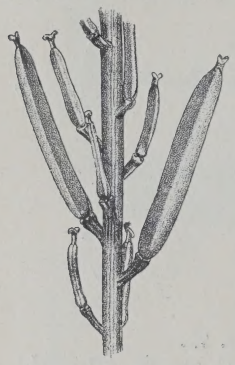


Fig. 73.
Nach Tschermak.

284. Vers. Einige Blütenknospen von *Cheiranthus* werden der Selbstbestäubung überlassen (Vers. 278). Aus anderen Blüten werden die Staubgefäße, ehe sie zu stäuben beginnen, herausgeschnitten. Mit Hilfe eines Pinsels werden nun die Narben solcher Blüten mit Pollen benachbarter Blüten belegt (vgl. Vers 273), während andere nach sorgfältigster Reinigung des Pinsels mit dem Pollen eines anderen Stockes bestäubt werden.

Die durch Wechselbestäubung erzielten Früchte sind beträchtlich kräftiger entwickelt als die durch eigenen Pollen befruchteten (Fig. 73, Tschermak).

Worauf es beruht, daß bei vielen Pflanzen — es gibt zahlreiche Ausnahmen — die Selbstbestäubung (Inzucht) zu minderwertigen Früchten und Samen und, wie bereits Darwin nachwies, zu schwächlichen Nachkommen führt, ist ein noch keineswegs befriedigend gelöstes Problem.

Um wenigstens eine Vorstellung von der möglichen Bedeutung der Fremdbestäubung zu gewinnen, wollen wir uns zunächst von einer anderen äußerst wichtigen Tatsache überzeugen.

285. Vers. 1. Zähle die Anzahl der Strahlblüten in einer Anzahl von Blütenköpfchen von *Chrysanthemum* oder einer anderen Komposite.

2. Bestimme an etwa 100 Exemplaren die Zahl der Erbsen in einer Hülse und notiere die Anzahl der Hülsen mit gleicher Samenzahl.

Es ergibt sich, daß die Samenzahl innerhalb gewisser Grenzen schwankt. Die Hülsen können mit Bezug darauf in eine Reihe gebracht werden, welche mit der niedersten Samenzahl beginnt und mit der höchsten endet; stets aber wird ein mittlerer Wert am häufigsten anzutreffen sein. Die Samenzahl variiert demnach, d. h. sie bewegt sich innerhalb gewisser Grenzen. Diese Grenzwerte bleiben auch für verschiedene Proben dieselben, die „Variationsweite" ist also konstant.

Um wenigstens ein Beispiel für derartige Beobachtungen anzuführen, seien hier die Zählungen wiedergegeben, welche Pearson an den Narbenstrahlen von 2268 Mohnkapseln durchführte. Es ergaben sich nachstehende Werte:

Anzahl der Narbenstrahlen	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Anzahl der beobachteten Fälle	1	12	91	295	550	619	418	195	54	25	5	3

Die Variationsweite beträgt demnach (16—5) 11, d. h. die Anzahl der Narbenstrahlen kann bei verschiedenen Kapseln im äußersten Falle um 11 verschieden sein. Das Variationsmittel, der am häufigsten beobachtete Wert, beträgt hingegen 10.

Man fand, daß sowohl Anzahl als Größe und Gewicht der Organe variieren. Stets ergibt sich dasselbe Gesetz: Jedes Organ und jedes Individuum variiert innerhalb bestimmter Grenzen; keines ist dem anderen in allen Stücken gleich.

Wählt man nun solche Individuen derselben Art, welche ein bestimmtes Merkmal (z. B. die Größe der Blüten) in besonders hohem Maße entwickelt haben, also in bezug auf dieses Merkmal am Ende der Reihe zu stehen kommen, aus und bestäubt man sie wechselseitig, so erhält man in der nächsten Generation Individuen, welche zum großen Teil dieses Merkmal in hervorragendem Maße besitzen. Kreuzt man unter diesen wieder nur die Individuen mit den größten Blüten, so kann man mit Bestimmtheit erwarten, nach einigen Generationen eine großblumige Sorte zu erzielen; sie wurde durch sorgfältige „Auslese" der zur Fortpflanzung bestimmten Individuen, durch „künstliche Zuchtwahl" erhalten. Wieder finden wir, daß die Blütengröße variiert; die am häufigsten zu beobachtende Größe liegt jedoch nicht an derselben Stelle wie bei den Stammeltern, sie hat

sich dem Ende der nach der Blütengröße geordneten Reihe genähert.

Diese Methode der künstlichen Auslese ist den Pflanzenzüchtern seit alters her wohl bekannt und führt zur sogenannten „Veredlung“ einer Rasse.

Denken wir uns nun eine Pflanzenart ausschließlich auf Selbstbestäubung angewiesen, so wäre die voraussichtliche Folge, daß jede zufällige Abweichung irgendeiner Eigenschaft vom Mittelwerte in gleicher Weise wie bei der künstlichen Zuchtwahl erblich fixiert werden könnte. Die Nachkommen einer Pflanze müßten schon nach einigen Generationen von der Mutterform ziemlich auffallend abweichen, in ähnlicher Weise, wie unsere Gartenblumen zum großen Teil von den „wilden“ Stammeltern abweichen; jede Art würde nach kurzer Zeit in eine Anzahl von Abarten oder Rassen zerfallen.

Überlassen wir eine durch künstliche Zuchtwahl entstandene Rasse (großblumige Gartenpflanzen, Zuckerrübe) einige Zeit sich selbst, so daß eine Wechselbefruchtung mit Pflanzen derselben Art stattfinden kann, so büßt sie oft nach wenigen Generationen ihre durch Zuchtwahl fixierten Eigenschaften ein; sie ist von der ursprünglichen Stammform nicht mehr zu unterscheiden.

Wir können auf Grund dieser Erfahrung vermuten, daß die Bedeutung der Wechselbefruchtung in einer Vermischung der Eigenschaften (Amphimixis nach Weismann) zweier verschiedener Individuen liegt, wodurch es ermöglicht wird, daß eine konstante, wenngleich innerhalb der obenerwähnten Grenzen schwankende Durchschnittsform einer Art erhalten oder — mit anderen Worten — die Ausbildung extremer und vielleicht weniger widerstandsfähiger Formen vermieden wird.

Die hier entwickelte Vorstellung von der Bedeutung der Wechselbefruchtung ist jedoch lediglich eine — wie es allerdings scheint berechtigte — Vermutung; ob sie in allen Fällen zutrifft, ist hingegen mehr als zweifelhaft.

Fruchtbildung ohne Bestäubung.

In neuerer Zeit hat man eine Reihe von Pflanzen kennen gelernt, welche sich zu den bisher besprochenen dadurch in Gegensatz stellen, daß sie zur Fruchtbildung keiner Bestäubung bedürfen, daß die Eizelle vielmehr selbständig entwicklungsfähig ist (Apogamie).

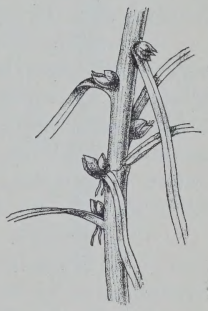
286. Vers. Man schneide eine Blüte aus einem Blütenköpfchen von *Taraxacum* der Länge nach auf, um die Stelle ausfindig zu machen, an welcher die Staubgefäße der Blumenkronröhre ansitzen. (Der Bau der Blüte ist ähnlich der Fig. 71.) Ist diese Stelle aufgefunden, dann schneide man einige junge Blütenköpfchen, noch bevor die Antheren Pollenstaub entlassen, knapp unterhalb der Ansatzstelle der Staubgefäße quer durch, so daß diese sowie der dazwischen liegende Griffel abgeschnitten werden. Eine Bestäubung ist nach unseren Erfahrungen somit ausgeschlossen.

Trotzdem bilden sich (nach Raunkiaer) in den operierten Blüten reife, keimfähige Samen aus. (Parthenogenesis im Sinne Winklers.)

Es sei hier auch die interessante Tatsache verzeichnet, daß bei manchen Pflanzen, zum Beispiel Birnen, sich trotz Ausbleibens von Bestäubung und daher auch von Befruchtung normale Früchte ausbilden, die aber keine oder nur taube Samen enthalten (Nolls Parthenokarpie). Ungeschlechtliche Fortpflanzung.

Wir ersehen aus Vers. 286, daß der Eizelle allein unter Umständen die Fähigkeit zukommt, zum Ausgangspunkt für die Entwicklung eines Individuums zu werden. In anderen Fällen kommt es überhaupt nicht mehr zur Entwicklung von Blüten; so bilden sich bei gewissen Laucharten (*Allium*) im Blütenstande einige oder alle Blüten zu kleinen „Brutzwiebeln“ um, die nach dem Abfallen zu neuen Individuen werden. Sie stellen kurze Stämmchen mit dicken, Reservestoffe führenden Blättern vor. Die Blüte ist also durch vegetative Organe ersetzt worden, weshalb eine derartige Fortpflanzung (im Gegensatz zur geschlechtlichen) als vegetativ oder ungeschlechtlich bezeichnet wird.

Diese Fortpflanzungsweise ist vielfach verbreitet und überaus mannigfaltig; sie kann bei der Mehrzahl der Pflanzen neben der sexuellen beobachtet werden oder ist bei niederen Organismen, wie Bakterien und Hefen, die alleinherrschende. — Besonders häufig treten Brutzwiebeln an unterirdischen Organen auf, wo sie meistens in der Achsel von Zwiebelschuppen zur Entwicklung kommen.



Brutzwiebeln

Fig. 74.
Nach einem Präparat von L. v. Portheim.

287. Vers. Kultiviere (am besten im Freien) Tulpen, die zweckmäßig schon im Herbste einige Zentimeter tief in den Boden eingelegt werden. Werden die Zwiebeln Ende Mai, nach dem Verblühen, ausgenommen, so findet man zumeist an Stelle einer Zwiebel deren mehrere, von denen jede im folgenden Jahre auszutreiben vermag: die Tulpe hat sich vegetativ vermehrt.

In gleicher Weise sehen wir an Knoblauch regelmäßig eine ganze „Zwiebelbrut“ entstehen, indem in den Achseln der äußeren Schuppen stets eine ganze Anzahl von Knospen zu Zwiebeln geworden sind. — Gelegentlich können aber Brutzwiebeln auch in den Achseln von Laubblättern zur Ausbildung gelangen:

288. Vers. Kultiviere *Lilium candidum* am besten in einem größeren Blumentopfe; einige Monate nach dem Verblühen haben sich kleine Brutzwiebeln in den Achseln der Blätter entwickelt (s. Fig. 74). Löse solche Zwiebeln ab und versuche sie auf feucht zu haltendem Sande zur Bewurzlung und weiteren Entwicklung zu bringen.

Viele einheimische Pflanzen, welchen von den Botanikern das Beiwort „zwiebeltragend“ (*bulbiferus*) gegeben wurde, zeichnen sich durch den Besitz solcher Brutzwiebeln aus, wie *Saxifraga bulbifera, Dentaria bulbifera, Lilium bulbiferum* und manche andere.

Sind nur hinreichend Reservestoffe vorhanden, so können auch andere Sproße zur vegetativen Fortpflanzung herangezogen werden, wenngleich sie keine Zwiebelform besitzen.

Ausläufer.

289. Vers. 1. Schneide oberirdische Ausläufer von *Ajuga reptans* oder Erdbeeren ab, lege sie in eine Keimschale auf feuchtes Fließpapier und bedecke sie mit einem Glassturze. An jeder Knospe entwickelt sich bald eine Anzahl Wurzeln.

2. Beobachte derartige Ausläufer an der Pflanze; sie fassen an ein oder mehreren Stellen, an allen dem Boden aufliegenden Knospen, Wurzeln. Fault der knospenfreie Teil des Ausläufers ab oder wird er durchschnitten, so ist aus jeder Knospe ein neues Individuum geworden.

3. Schneide unterirdische Ausläufer von *Cynodon*, *Mentha*-Arten, *Convulvus arvensis* in etwa 10 *cm* lange Stücke und behandle sie wie in 1., um die Bewurzlung, die an jeden Knoten auftritt, zu beobachten.

Vielfach werden an unterirdischen Ausläufern einige Reservestoffe speichernde Organe gebildet, welchen das Fortpflanzungsgeschäft zufällt. Die Knollen der Kartoffel seien als bekanntes Beispiel angeführt. Während wir aber in den oben genannten Fällen sahen, daß jede Knospe für sich zu einem neuen Individuum werden kann, beobachten wir an der Kartoffel zahlreiche, unter dem Namen Augen bekannte Knospen.

Vegetative Vermehrung durch künstlichen Eingriff.

290 Vers. Schneide eine Kartoffel in mehrere Stücke, so zwar, daß einzelne Stücke frei von Augen sind, und lege die Stücke einzeln in Erde. Nach einigen Wochen zeigt sich, daß die augenfreien Teilstücke im Absterben begriffen sind, während sich jeder andere Teil, auch wenn er nur eine Knospe besaß, bewurzelt hat.

Wir entnehmen diesen Versuchen, daß wir durch Zerscheiden der vegetativen Fortpflanzungsorgane gewisse Pflanzen reichlich vermehren können, wovon der Pflanzenzüchter häufig praktische Anwendung macht, namentlich dann, wenn die Anzucht aus Samen viele Jahre in Anspruch nehmen würde oder wenn eine bestimmte, wenig oder keine Samen bildende Blumensorte vermehrt werden soll.

Durch künstlichen Eingriff gelingt es sogar, solche Pflanzenorgane zur Vermehrung heranzuziehen, die unter gewöhnlichen Umständen nicht als vegetative Fortpflanzungsorgane dienen.

291. Vers. Ein kräftiger beblätterter Trieb einer abgeblühten Nelke wird Ende Juli oder Anfang August niedergebogen und am Grunde einige Zentimeter hoch mit Erde bedeckt; während dieser Teil mit einer Holzklammer niedergehalten wird, beläßt man den

übrigen Sproßteil aufgerichtet außer der Erde. Hat man auf der Unterseite des von Erde bedeckten Knotens vorher einen bis zur Mitte reichenden Einschnitt gemacht, so entwickeln sich hier nach etwa 4—6 Wochen Wurzeln. Jetzt können die „Senker“ von der Mutterpflanze abgetrennt und in Töpfe übersetzt werden.

292. Vers. Schneide ca. $^1/_2$ bis 1 *cm* starke und etwa 20 *cm* lange Weidenzweige ab und stecke sie teils einige Zentimeter tief in Erde, teils in Wasser. Es entwickeln sich bald — im Frühjahr schon nach einigen Tagen — reichlich Wurzeln am unteren, Zweige am oberen Ende. Fig. 75 zeigt einen derartigen in Wasser kultivierten Steckling einer Weide. In vielen Fällen können selbst Blätter zur vegetativen Vermehrung benützt werden.

293. Vers. Wir reißen Blätter von *Aucuba japonica* oder *Hoya carnosa* ab und stecken die Blattstiele in feuchten Sand, den wir mit einer Glasglocke bedecken. Nach einigen Wochen — am besten an einem hellen, warmen Orte — haben sich an der verletzten Stelle zahlreiche Wurzeln gebildet, die wir bei sorgfältigem Ausnehmen des Blattes aus dem Sande leicht nachweisen können.

294. Vers. Ein Blatt einer Begonie wird abgeschnitten, mit der Unterseite auf feuchten Sand gelegt und mit kleinen Holzklammern niedergehalten. Wird Austrocknung vermieden, so bilden sich am Grunde der Blattfläche eine oder mehrere kräftige Knospen. Wenn man die großen Blattnerven quer durchschneidet, so pflegen auch hier Knospen aufzutreten. (Fig. 76) Sind die Reservestoffe des Blattes aufgebraucht, so geht es zugrunde; die Knospen sind indessen bereits zu kleinen, sich selbständig ernährenden Pflänzchen geworden.

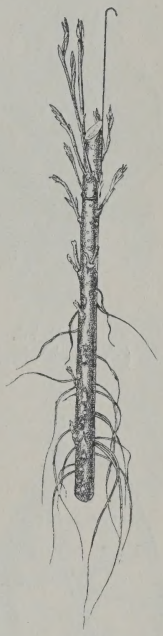


Fig. 75. Nach einem Vers. von L. v. Portheim.

Während ein Steckling dadurch ausgezeichnet ist, daß er sich bewurzelt und derart zum Ausgangspunkte eines neuen, sich selbständig ernährenden Individuums wird, kann ein abgeschnittenes Reis auch dadurch ernährt werden, daß man es mit einer anderen geeigneten Pflanze (der Unterlage) in passender Weise verbindet, mit der es vollständig verwächst; es übernimmt dann die Unterlage die Versorgung des Reises mit Bodennährstoffen, während dieses mit den in seinen Blättern gebildeten Assimilaten teilweise auch die Unterlage versorgt, so daß zwischen beiden eine Art Symbiose (vgl. S. 121) zustande kommt.

Daß eine derartige Verwachsung möglich ist, läßt sich leicht an knollenförmigen Organen nachweisen.

295. Vers. Eine Kartoffelknolle wird mit scharfem Messer auseinandergeschnitten und beide Hälften neuerlich aneinandergelegt und mit Bindfaden oder schmalen Bändchen zusammengeschnürt (Fig. 77); die Verbindungsstelle ist zweckmäßig äußerlich mit Baumwachs zu verstreichen. Bleibt die Knolle einige Wochen in feuchtem Raume oder in Erde oder Sand liegen, so tritt eine vollständige und innige Verwachsung beider Hälften ein.

In der Praxis benützt man diese Fähigkeit in ausgedehntem Maße zur sogenannten Veredlung, welche darin besteht, daß man einen Sproß der Pflanze, welche man zu vermehren wünscht, am besten vor dem Austreiben, auf eine passende Unterlage aufpfropft.

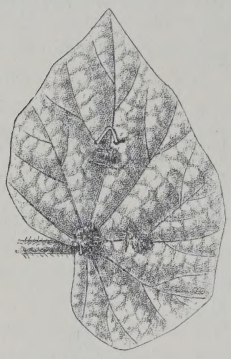


Fig. 76.
($^2/_3$ verkleinert.)

Wir wollen die gebräuchlichsten Methoden selbst durchzuführen versuchen, wobei stets zu berücksichtigen ist, daß nur verwandte Pflanzen aufeinander gepfropft werden können.

296. Vers. Ein mit zwei bis drei Knospen versehenes Zweigstück einer Kirsche wird so zugeschnitten wie in Fig. 78 (*1 a, b*). Ein junges Bäumchen einer Pflaume wird nun mit scharfem Messer abgeschnitten und in der Mitte gespalten, worauf der zugeschnittene Teil des Reises so hineingepaßt wird, daß die Holz- und Rindenteile beider Zweige, vor allem aber ihre Kambien genau aufeinander passen (Fig. 78, *1 c*). Nun wird die Pfropfstelle fest mit Bast umwickelt und mit Baumwachs verschmiert. Ist die Pfropfung gelungen, so tritt sehr bald eine Verwachsung des Edelreises mit der Unterlage ein. (Pfropfen in den Spalt.)

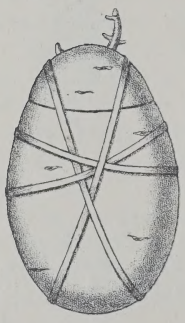


Fig. 77.
Nach Fruhwirt.

297. Vers. Ein Zweig einer Birne wird mit scharfem Messer schräg abgeschnitten und mit einem gleich starken, in derselben Weise schräg zugeschnittenen Stämmchen eines Apfelbäumchens fest verbunden. (Fig. 78, *2*). Die Pfropfstelle ist mit Baumwachs zu verschmieren. (Kopulieren.)

298. Vers. In die Rinde eines kräftigen, etwa 2—4jährigen Triebes einer Heckenrose (Wildling) wird ein T-förmiger bis aufs Holz reichender Einschnitt gemacht (Fig. 78, *3 a*) und von diesem aus die Rinde nach beiden Seiten hin abgehoben. Nun schneidet man aus dem zur Aufpfropfung bestimmten Edelreis eine Seitenknospe (ein „Auge“) mit der umgebenden Rinde so heraus, wie es in Fig. 78 (*3 b*) angedeutet ist, und

schiebt dieses Schildchen in den an der Unterlage angebrachten Spalt, so daß nur die Knospe aus der Rinde hervorsieht, worauf die Pfropfstelle verbunden und verschmiert wird. (Okulieren.) Bei einiger Übung gelingt ein großer Teil der Pfropfungen. Das Okulieren kann im Frühjahre („mit treibendem Auge“) oder im Hochsommer („mit ruhendem Auge“) durchgeführt werden. In letzterem Falle wird erst im folgenden Jahre die Unterlage knapp oberhalb der Pfropfstelle abgeschnitten.

Aus den Versuchen mit Stecklingen entnehmen wir die wichtige Tatsache, daß selbst solche Pflanzen, welche sich normal nur durch Samen, also auf geschlechtlichem Wege vermehren, unter Umständen die Befähigung zur vegetativen Fortpflanzung besitzen.

Die Frage nach der Bedeutung der vegetativen Fortpflanzung ist jedoch schwer zu beantworten. In vielen Fällen — wenigstens bei höheren Pflanzen — scheint sie einen Notbehelf, einen Ersatz der geschlechtlichen Fortpflanzung darzustellen, insofern, als oft gerade dann, wenn diese durch ungünstige äußere Verhältnisse (z. B. durch zu geringe Lichtintensität) verhindert wird, vegetative Fortpflanzungsorgane ausgebildet werden. Häufig treten aber beide Formen der Fortpflanzung nebeneinander auf. Wir wissen ferner, daß jede Pflanze mit ganz vereinzelten Ausnahmen unter entsprechenden Bedingungen künstlich durch Stecklinge u. dgl. vermehrt werden kann. Welche Bedeutung, müssen wir wieder fragen, hat aber dann die sexuelle Fortpflanzung; warum hat sich die so komplizierte sexuelle Fortpflanzung entwickelt, wenn durch einfache Lostrennung vegetativer Organe derselbe Erfolg erreicht wird? Man glaubte lange, annehmen zu können, daß ausschließlich vegetativer Vermehrung unterliegende Pflanzen in kurzer Zeit degenerieren. Genaue Untersuchungen lassen aber diese Anschauung nicht aufrechterhalten. So ist nachgewiesen, daß sämtliche Exemplare der gewiß üppig gedeihenden Trauerweide durch vegetative Vermehrung eines Stecklings gewonnen worden sind, welcher im XVII. Jahrhundert aus dem Orient nach England gebracht wurde; *Acorus Calamus* ist seit etwa 400 Jahren in Europa verbreitet und ist dabei stets auf vegetative Vermehrung angewiesen.

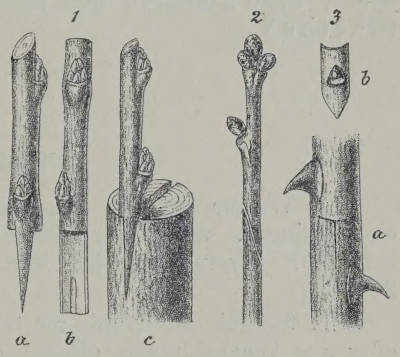


Fig. 78.

Wir kennen den Unterschied in der Bedeutung beider Fortpflanzungsarten nicht. Wozu wird überhaupt mit allen Mitteln eine Fortpflanzung erstrebt? Aus welchem Grunde erfolgt das Absterben der Organismen?

Unsere Versuche haben uns tief in die schwierigsten Probleme der Physiologie geführt. Immer größer wird die Zahl der Fragen, welche wir beantwortet wissen wollen, immer unsicherer die Antworten, da uns das naturwissenschaftliche Experiment im Stiche läßt und wir uns auf den unsicheren Boden der Vermutung und Hypothese, in das Gebiet der Philosophie, begeben müssen, um den Rätseln, welche uns die Natur zu lösen gibt, auf die Spur zu kommen. „Ihre Geheimnisse sind von einer unergründlichen Tiefe; aber es ist uns Menschen erlaubt und gegeben, immer weitere Blicke hineinzutun. Und gerade, daß sie am Ende doch unergründlich bleibt, hat für uns einen ewigen Reiz, immer wieder heranzugehen und immer wieder neue Einblicke und neue Entdeckungen zu versuchen.“ (Goethe.)

Aufgaben.

1. Warum ist der Fruchtansatz bei unseren Obstbäumen ein geringer, wenn zur Blütezeit andauerndes Regenwetter herrscht? Warum schadet kurzer Regen nicht? (Vgl. Vers. 276, 2.)

2. Sammle den Honig am Grunde der Blüten von *Fritillaria* oder aus Wachsblumen (*Hoya*) durch Aufsaugen mit einem zu einer feinen Kapillare ausgezogenen Glasrohr; verdünne ihn mit etwas Wasser und versuche Zucker nachzuweisen. (S. Vers. 27.)

3. Warum blühen die meisten windblütigen Holzgewächse vor der Belaubung?

4. Von welchen Insekten werden Doldenblütler, von welchen Lippenblütler und Schmetterlingsblütler (Klee) besucht?

5. Berühre die Staubgefäße von *Berberis* am Grunde (und zwar auf der Innenseite) mit einer Nadel- oder Bleistiftspitze und beobachte die auftretende Bewegung der Staubgefäße.

6. Beobachte *Centaurea*-Blüten beim Besuche von Bienen.

7. Wie wäre zu beweisen, daß in Versuch 275, 2 nicht etwa die Verletzung an dem Ausbleiben der Befruchtung schuld trägt?

8. Warum vermeiden Bienen den Besuch von *Antirrhinum*-Blüten, deren Kronen an der Basis — wie man oft beobachten kann — von Hummeln angebissen sind? (Vgl. Vers. 281.)

9. Führe die Bleistiftspitze in den Schlund einer Salbeiblüte ein und beobachte, auf welche Weise der Blütenstaub abgelagert wird. Untersuche die verschiedene Stellung von Staubfäden und Griffel bei verschieden alten Blüten.

10. Versuche abgelöste Kotyledonen von Bohnen auf feuchtem Sande zur Bewurzlung zu bringen.

11. Warum treten so viele Zwiebelpflanzen meistens herdenweise, seltener vereinzelt auf? (Vgl. S. 231.)

Anhang.

I. Die wichtigeren Geräte und Handgriffe.

(Bezugsquellen finden sich im Inseratenanhang.*)

Abdampfen. Um konzentrierte Lösungen zu erhalten, dampft man einen Teil des Lösungsmittels auf dem Wasserbade ab. Man bedient sich hierzu der Abdampfschalen (aus Porzellan) oder bei ganz geringen Flüssigkeitsmengen sog. Uhrschalen. „Zur Trockene abdampfen" heißt solange abdampfen, bis das ganze Lösungsmittel verschwunden ist und ein trockener Rückstand zurückbleibt.

Anstrich. Es sei hier ein äußerst zweckmäßiger, von Wortmann angegebener Anstrich für Arbeitstische empfohlen, der durch große Widerstandsfähigkeit gegen chemische Reagentien ausgezeichnet ist. Derselbe besteht aus zwei Lösungen:

Lösung I.	Lösung II.
100 *g* Kupfersulfat	100 *g* Salzsaures Anilin
50 *g* Kaliumchlorat	40 *g* Chlorammon
615 *g* Wasser	615 *g* Wasser

Die Lösungen werden wechselweise aufgestrichen. Man beginnt mit Lösung I und wartet bis der Gegenstand einigermaßen trocken geworden ist (an der Oberfläche) und streicht dann mit der zweiten und so abwechselnd, bis jede der Lösungen dreimal aufgetragen ist. Die Fläche wird zunächst grün und muß mit lauwarmem Wasser gut gewaschen werden, dann läßt man gut trocknen. Hierauf wird mit einem Läppchen einmal mit gekochtem Leinöl eingerieben und mit Sandpapier geputzt, bis die Fläche mattschwarz ist, und endlich noch einmal mit Wasser und Seife gewaschen.

*) S. auch Vorwort (S. VIII, Anmerkung).

Anzucht von Keimlingen. Man beschaffe sich gutes Samenmaterial aus einer verläßlichen Samenhandlung. Größere Samen werden vor dem Einpflanzen in Wasser 24 Stunden gequollen, was bei kleinen Samen (Kresse, Hanf etc.) nicht erforderlich ist. Je nach dem Zwecke, dem die Keimlinge dienen sollen, läßt man sie in Keimschalen auf Fließpapier ankeimen oder legt sie direkt in mit gesiebter Erde gefüllte Blumentöpfe; kleine Samen werden hierauf mit dünner Erdschicht bedeckt und diese etwas festgedrückt, größere Samen setzt man etwa $^1/_2$—1 *cm* tief in Erde ein. Bis zum Aufgehen der Saat ist die Erde gleichmäßig feucht zu erhalten.

Sollen auf Fließpapier gekeimte Samen eingetopft werden, so wird der Topf mit gesiebter und befeuchteter Erde gefüllt und mit einem Holzstäbchen ein entsprechend weites und tiefes Loch gebohrt, in welches die Pflänzchen unter möglichster Schonung der Wurzel eingesenkt werden, worauf die Erde um das Pflänzchen festgedrückt wird.

Sollen die Keimlinge möglichst gerade sein, so kultiviert man sie unter einem dunklen Sturz. Wünscht man gerade Wurzeln zu erzielen, so setze man die Samen in Sägespäne. Um in diesem Falle ein lockeres, gleichmäßiges Keimbett zu erlangen, werden die Sägespäne gleichmäßig durchfeuchtet, zwischen den Händen zerrieben und nach dem Einbringen der Samen leicht festgedrückt.

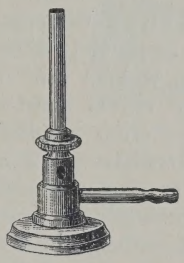


Fig. 79 *a*.

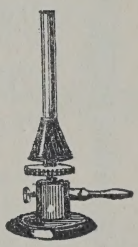


Fig. 79 *b*.

Das Gießen soll, solange die Pflänzchen noch nicht kräftig sind, stets nur mit ganz feiner Brause geschehen. Vgl. auch „Keimschalen".

Aspirator, s. S. 17. Vgl. auch Wasserstrahlpumpe.

Auflösung, s. Lösung.

Brenner. Es empfiehlt sich die Benützung von Bunsen- (noch besser Teclu-)Brennern (Fig. 79 *a*, bezw. 79 *b*), welche derartig eingerichtet sind, daß infolge Luftzutrittes die Verbrennung eine vollkommene, die Flamme daher nicht rußend und nicht leuchtend wird; die Flammentemperatur ist beträchtlich höher als die der leuchtenden Flamme. Glasgefäße, über leuchtenden Flammen erhitzt, zerspringen. Man benütze daher zum Erwärmen stets die nichtleuchtende Flamme. Es ist sorgfältig darauf zu achten, daß die Flamme nicht durchschlägt (d. h. innen, bei der Öffnung für den Luftzutritt, brennt), da sich in diesem Falle der Brenner so stark erhitzen kann, daß der Gasschlauch Feuer fängt.

In Ermanglung von Leuchtgas kann auch ein Spiritus-(Spiritusgas-)Brenner benützt werden.

Vorteilhaft ist auch der Besitz eines Schmetterlingsbrenners oder eines spaltförmigen Aufsatzes auf einen Bunsen-(Teclu-) Brenner zum Biegen von Glasröhren.

Bürette, zum genauen Abmessen geringer Flüssigkeitsmengen. (Fig. 80.) Einteilung in 0·1 cm^3, mit Glas- oder Quetschhahn verschließbar. Während man die Flüssigkeit ablaufen läßt, ist die Bürette, um Fehler bei der Ablesung zu vermeiden, vertikal zu halten oder einzuklemmen. Für unsere Zwecke bequem, aber nicht unbedingt erforderlich.

Dichten. Eingeriebene Stöpsel und Glashähne sind stets mit etwas Vaselin einzufetten. Das Dichten von Glasröhren in Korkstöpseln geschieht mit Siegellack, besser mittelst Klebwachs (s. dort). In gleicher Weise lassen sich derbere Pflanzenteile (Zweige etc.) in Korke einführen. Krautige Pflanzenstengel stecke man vorerst durch Glasröhren, in welchen sie mit Wachs gedichtet werden, und befestige diese im Kork. Klebwachs und Siegellack halten nur auf trockenen Gegenständen. Mit Vorteil kann man als Dichtungsmittel eine ätherische Kollodiumlösung benützen, welche mit einem Pinsel aufgestrichen wird und bald zu einem dichten Häutchen erstarrt. (Bei lebenden Pflanzenteilen ist diese Methode ausgeschlossen.)

Fig. 80.

Drahtnetz; Findet beim Erhitzen von Glasgeräten über der offenen Flamme Anwendung, um die Erwärmung gleichmäßiger zu gestalten. Vorteilhaft ist es, auf das Netz überdies ein Asbestplättchen zu legen. Das Netz muß so groß sein, daß es auf dem Ring des Stativs oder auf dem Dreifuß gut aufliegt.

Dreifuß, aus Eisen; dient als Stativ zum Kochen etc.

Eindampfen, s. Abdampfen.

Einsiedegläser (weite Form, aus weißem Glase) erlauben eine vielfache Anwendung als Kulturgefäße (Wasserkulturen), als Ersatz für Glasglocken usw. Verschiedene Größen ($^1/_2$—5 l) erwünscht.

Eprouvetten. (Fig. 81.) Kleine, zylindrische, dünnwandige Glasröhrchen von ca. 16—18 cm Länge und 1—2 cm Durchmesser. Erforderlich etwa 12 Stück samt hölzernem Eprouvettenständer. S. auch unter „Kochen".

Eprouvettenhälter aus Holz, zum Halten der Proberöhrchen bei sehr lang andauerndem Kochen. Ein um den oberen Teil der Eprouvette geschlungenes Tuch (Leder oder Papierstreifen) tut im Notfalle denselben Dienst.

Erlenmayerkolben, s. Kolben.

Exsikkator. (Fig. 82.) Dient zum Trocknen verschiedener Substanzen oder zu deren trockenen Aufbewahrung. Er besteht

aus zwei gut aufeinander geschliffenen Glasgefäßen, in welchen sich in einer Schale konzentrierte Schwefelsäure oder trockenes Chlorkalzium befindet; indem diese Substanzen begierig Wasser aufnehmen, wird der Luftraum vollkommen trocken erhalten. Die zu trocknenden Stoffe dürfen natürlich nicht mit diesen Substanzen in unmittelbare Berührung kommen.

Fällung, d. i. Bildung eines Niederschlages, einer Abscheidung fester Teilchen aus einer Lösung, nach Zusatz einer bestimmten Substanz, des Fällungsmittels. Ist die ausfallende Substanzmenge sehr gering, dann erscheint die ursprünglich klare Lösung getrübt. Die Abscheidung eines Niederschlages läßt sich meistens durch Schütteln, Umrühren oder gelindes Erwärmen beschleunigen. Fällungen werden zumeist in Eprouvetten vorgenommen. Das Fällungsmittel ist in der Regel einigen cm^3 der zu untersuchenden Lösung nur tropfenweise zuzusetzen (außer wenn angegeben „im Überschuß").

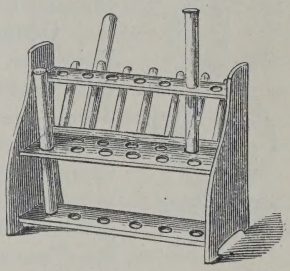


Fig. 81.

Filtrieren. Jede trübe Lösung ist, wenn nicht anders bemerkt, zu filtrieren. Es erfolgt in der Regel durch ein in einen Glastrichter eingelegtes Filtrierpapier (ungeleimtes, weißes Fließpapier). Ein kreisrundes Stück (empfehlenswert ist die Anschaffung verschieden großer, der Trichtergröße angepaßter „geschnittener" Filter) wird zunächst zu einem Halbkreis, dieser zu einem Viertelkreis gefaltet und so in den Trichter eingelegt, daß eine Hälfte desselben von einer einfachen, die gegenüberliegende Seite hingegen von einer dreifachen Papierlage bedeckt ist. Das Papier soll nicht über den Trichterrand reichen.

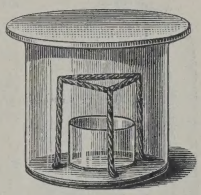


Fig. 82.

Das Filter ist in der Regel vor dem Filtrieren mit destilliertem Wasser zu befeuchten (am besten mit der Spritzflasche), worauf es sich dem Glase dicht anschmiegt. Das Befeuchten hat natürlich zu unterbleiben, wenn die Lösung wasserfrei bleiben soll (z. B. absoluter Alkohol). Die durch das Filter gehende klare Lösung heißt Filtrat, die im Filter zurückbleibende Substanz Rückstand. — Der Glastrichter wird in den Ring des Stativs gehängt und ein Gefäß so darunter gestellt, daß seine Wand dem Trichterhalse anliegt. Geht die Flüssigkeit trüb durchs Filter, so filtriere man ein zweitesmal durch dasselbe Filter. Nützt auch diese Vorsicht nichts, dann benütze man ein doppeltes Filter oder lasse die zu filtrierende Flüssigkeit sich durch ruhiges Stehen absetzen (z. B. Kalkwasser).

Flüssigkeiten, welche das Filterpapier angreifen (konzentrierte Kalilauge oder konzentrierte Schwefelsäure), werden über „Glaswolle“ filtriert, von der man eine geringe Menge fest in den Trichter stopft. Um ein Vergießen oder Verspritzen zu vermeiden, gieße man die Flüssigkeit nicht in dickem Strahl in das Filter, sondern lasse sie langsam längs eines schräg gegen die Trichterwand gehaltenen Glasstabes in das Filter abfließen.

Gasentwicklung kommt nur bei einigen Experimenten in Betracht. Sie erfordert stets einige Vorsicht. Namentlich darf die Gasentwicklung nicht stürmisch sein, sondern soll langsam und gleichmäßig vor sich gehen. Zur Entwicklung benützen wir die Gasentwicklungsflasche (S. 149) oder den komplizierteren aber in mancher Hinsicht bequemeren Kippschen Gasentwicklungsapparat. (Fig. 83.)

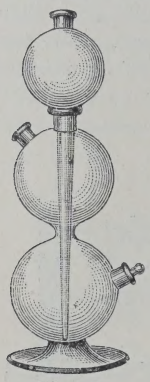


Fig. 83.

Glasgeräte, Reinigung derselben. Das Reinigen geschieht, wenn Wasser nicht genügt, mit verdünnter Salzsäure; in diesem Falle ist durch reichliche Wasserspülung die Säure wieder zu entfernen. Stets soll mit destilliertem Wasser nachgespült werden. Das Auswaschen geschieht mit passenden Bürsten, von denen man eine größere für Bechergläser und dgl., eine kleinere für Eprouvetten, Glasröhren etc. benützt. Man gewöhne sich, jedes Gefäß sofort nach Gebrauch zu reinigen. Das Trocknen soll in der Regel nicht mit einem Tuche erfolgen; man lasse die Geräte vielmehr mit der Mündung nach unten an der Luft trocknen. Durch Ausspülen mit Alkohol und Äther kann das Trocknen, wenn nötig, beschleunigt werden.

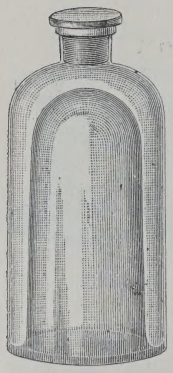


Fig. 84.

Glasglocken. Empfehlenswert sind etwa folgende Formen und Größen: Glocke mit Knopf zum Bedecken kleiner Schalen etc., Durchmesser ca. 10, Höhe 5—7 *cm*. Glocke mit Knopf (Mikroskopsturz) Durchmesser 17, Höhe 35 *cm*. Beide können eventuell durch umgekehrte Einsiedegläser, Präparatenzylinder und dgl. ersetzt werden.

Doppelwandige Glasglocke (Senebiersche Glocke) 13:35 *cm*. (Fig. 84.) Ersetzbar durch zwei ineinander passende Präparatenzylinder (s. S. 76). Wichtig ist eine Glocke mit Hals und abgeschliffenem Rand, samt zugehöriger Glasplatte. (13:35 *cm*.)

Glasröhren, Glasstäbe. Man verschaffe sich namentlich von ersteren einen kleinen Vorrat (etwa 1 *kg*), da sie zur Zusammensetzung der meisten Apparate erforderlich sind. Sie sollen verschiedene Durchmesser (2—8 *mm*) haben und aus leicht

schmelzbarem (Kali-)Glas bestehen. Außerdem sind für einige Versuche weite, an einem Ende zugeschmolzene Glasröhren von ca. 1 *m* Länge erforderlich.

Das Schneiden der Röhren und Stäbe geschieht in der Weise, daß man das Glas mit einer dreieckigen Feile oder noch bequemer mit einem Glasmesser (aus hartem Stahl) einritzt und dann abbricht. Dickere Röhren werden allseits eingeritzt, mit einem Wassertropfen benetzt und dann über die Flamme gehalten, worauf sie glatt abzuspringen pflegen. Die scharfen Bruchränder werden in der Bunsenflamme angeschmolzen.

Das „Ausziehen" einer Glasröhre zu einer Spitze geschieht in der Weise, daß man sie zunächst einigemal gleichmäßig durch die Flamme zieht, hierauf an den Enden mit beiden Händen ergreift und unter fortwährendem gleichmäßigen Drehen eine Stelle des Rohres so lang erhitzt, bis es hier zu schmelzen beginnt. In diesem Augenblick nimmt man es aus der Flamme und zieht das Rohr nach beiden Seiten auseinander. Je stärker erhitzt wurde und je schneller das Ziehen erfolgt, desto dünner wird die erhitzte Stelle ausgezogen. Nachdem das Rohr erstarrt und erkaltet ist, schneidet man es in der gewünschten Länge ab.

Das Biegen von Röhren und Stäben geschieht in ähnlicher Weise, nur erhitzt man eine längere Partie; das Biegen selbst erfolgt gleichfalls außerhalb der Flamme ohne Anwendung von Gewalt. Die Biegungsstelle soll nicht eingeknickt sein, was bei einiger Übung am besten über einem Schmetterlingsbrenner zu erreichen ist.

Glasstifte. Farbstifte zum Schreiben auf Glas zur Anfertigung provisorischer Aufschriften.

Hornlöffel, zur Entnahme von Chemikalien aus einem Gefäß, da jede Verunreinigung sowie jede Berührung derselben mit den Fingern stets streng zu vermeiden ist.

Kautschukschläuche. Man beschaffe sich einen Gas- und einen Wasserschlauch, die nicht verwechselt werden dürfen, ohne Beeinträchtigung ihrer Brauchbarkeit. Ehe man einen Schlauch über ein Glasrohr schiebt, ist dieses zweckmäßig an seinem Ende mit etwas Vaselin einzufetten. Zur Verbindung von Glasröhren miteinander reicht gewöhnlich ein dünner Schlauch hin. Nur wenn die Verbindung absolut gasdicht sein soll, empfiehlt es sich, kurze dickwandige Kautschukschläuche (Vakuumschläuche) zu benützen und die zu verbindenden Glasröhren so tief in den Schlauch einzuschieben, bis sie sich mit ihren Enden berühren. Vakuumschläuche sind auch zu benützen, wenn mit einem starken Wasserdruck zu rechnen ist (zum Beispiel bei einer Wasserstrahlpumpe).

Es ist nicht zu empfehlen, Kautschukwaren im Vorrat zu kaufen, da sie leicht brüchig werden, was durch Aufbe-

wahrung unter geschabtem Stearin oder unter Petroleum einigermaßen verhindert werden kann.

Das Verschließen eines Schlauches geschieht mittelst Quetschhahnes oder in der Weise, daß man ihn durch ein kurzes, gut passendes Glasstäbchen, dessen scharfe Ränder abgeschmolzen wurden, wie mit einem Pfropf verschließt.

Keimschalen aus Ton, zum Ankeimen von Samen. (Fig. 85.) Der Boden wird mit mehreren Lagen (grauen) Fließpapiers belegt und stark befeuchtet, hierauf die Samen so ausgelegt, daß sie sich nicht berühren. Um ein Austrocknen zu vermeiden, werden mehrere Schalen übereinandergestellt oder jede mit einer Glasscheibe oder dergleichen bedeckt. Einen brauchbaren Ersatz bieten Untersatztassen für große Blumentöpfe. Zur Erzielung gerader Wurzeln ist ein hoher Rand erforderlich, da die Schalen mindestens 5 *cm* hoch mit Sägespänen gefüllt werden müssen. Vgl. „Anzucht von Keimlingen". Auch als Untersatz bei Herstellung eines „feuchten Raumes" benützbar.

Klebwachs, zum Dichten. 35 T. Bienenwachs und 50 T. Vaselin werden zusammengeschmolzen und dazu nach und nach unter Umrühren 15 T. pulverisiertes Fichtenharz hinzugefügt. Die erkaltete Masse wird mit einem heißgemachten Drahte aufgetragen.

Fig. 85.

Ähnliche Verwendung finden die kalt anzuwendenden Kittmassen, welche unter den Namen Klebwachs oder Jollyscher Kitt käuflich erhältlich sind. Vgl. Dichten.

Kochen. Zum Kochen dienen Blech- oder dünnwandige Glasgefäße. Leicht brennbare Substanzen (Alkohol, Äther) werden auf dem Wasserbade gekocht, alle übrigen zumeist über der nicht leuchtenden Flamme eines Bunsen(Teclu)brenners. Bechergläser, Kochkolben stellt man dabei auf ein Drahtnetz oder eine Asbestplatte (Drahtnetz mit Asbesteinlage). Alle Glasgefäße müssen außen vollkommen abgetrocknet werden, um das Springen zu vermeiden. Eprouvetten, zu etwa $^1/_3$ gefüllt, hält man schräg (Mündung von sich weg) in die Flamme. Das Erwärmen muß anfänglich vorsichtig unter Durchziehen durch die Flamme und wiederholtem Aufschütteln der Lösung geschehen, da sonst infolge ungleicher Erwärmung das Glas springt. Kali(Natron)lauge, die beim Kochen „stößt", wird am besten im Becherglas unter wiederholtem Umrühren allmählich bis zum Kochen erhitzt.

Kolben. 1. Erlenmeyerkolben: dünnwandige Kolben von konischer Form; Verwendung wie Kochkolben; besonders geeignet für Kulturen von Pilzen und Bakterien.

2. Kochkolben: dünnwandige, bauchig erweiterte Flaschen, zweckmäßig mit ebenem Boden. (Inhalt etwa 100, 200, 500 cm^3). Dienen zum Auflösen von Chemikalien, Kochen etc.

Kork. Man benütze stets gleichmäßig dichte, nicht löchrige Korke. Ehe ein Kork in eine Flasche eingesetzt wird, muß er gequetscht werden, damit er geschmeidiger wird und besser schließt. Hierzu dient der Korkquetscher (oder in dessen Ermanglung ein Hammer). (Fig. 86.) Harte Korke koche man in Wasser auf. Einen guten Ersatz für die größeren und teuren Korke bilden die aus Korkabfällen hergestellten Suberitstöpsel, Suberitplatten etc.

Korkbohrer (Fig. 87) zum Bohren von Löchern in Kork. Er besteht aus einem, an einem Ende geschärften Messingrohr, durch welches am oberen Ende ein Eisenstäbchen gesteckt wird, das als Handgriff beim Bohren dient. (Ein Satz von 4—6 Bohrern reicht hin). Stumpf gewordene Bohrer müssen geschliffen werden, was man mit Hilfe eines Korkbohrerschärfers auch leicht selbst besorgen kann.

Fig. 86.

Kristallisierschalen. Glasschalen von 15—18 *cm* Durchmesser und 4—5 *cm* Höhe können als Keimschalen (s. dort) für kleinere Samen benützt werden; überdies sehr geeignet zur Herstellung eines „feuchten Raumes".

Fig. 87.

Lösung. Die Lösung erfolgt um so leichter, je stärker der aufzulösende Körper zerkleinert ist. Man pulverisiert daher in der Regel die zu lösende Substanz in der Reibschale. Ganz grobe Stücke werden vorher in einem Mörser zerkleinert oder in dessen Ermanglung in reines Tuch oder starkes Papier gehüllt und mit dem Hammer zerschlagen. Die Lösung nimmt man am besten in einem sorgfältig gereinigten Glasgefäß mit Ausguß (Stutzen) vor. Umrühren mit einem an den Enden abgeschmolzenen Glasstab fördert die Lösung. Eine wesentliche Beschleunigung erzielt man durch Erwärmen, das stets in dünnwandigen Glasgefäßen (Eprouvette, Becherglas, Kolben) vorzunehmen ist. Dient Alkohol oder Äther als Lösungsmittel, dann darf nur auf dem Wasserbade erwärmt werden, während wässerige Lösungen auf einem Drahtnetze über offener (nicht leuchtender) Flamme erhitzt werden können. Um beim Umrühren die dünnwandigen Gefäße nicht durchzustoßen, wird über ein Ende des Glasstabes ein Stückchen Kautschukschlauch gezogen. Trübe Lösungen müssen, wo nicht anders bemerkt, filtriert werden. Bei höherer Temperatur löst sich zumeist mehr Substanz auf; in heiß gesättigten Lösungen scheidet sich daher beim Abkühlen ein Teil der gelösten Substanz wieder ab. Als Lösungsmittel benütze man (wenn nichts anderes bemerkt) stets destilliertes Wasser. Gesättigt ist eine Lösung, wenn keine Substanz mehr in Lösung geht. Unter

„Lösung von x%“ versteht man eine Lösung von x Teilen der Substanz in 100—x Teilen des Lösungsmittels. (Zum Beispiel 5% Kochsalzlösung: 5 *g* Kochsalz auf 95 *g* (= 95 cm^3) destilliertes Wasser).

Meßzylinder (Mensur) zum Abmessen von Flüssigkeitsmengen. Zweckmäßig ist eine zylindrische Form. Inhalt 50—500 cm^3, in cm^3 geteilt; auf- und abwärts beziffert, was ein bequemes Ein-, beziehungsweise Ausgießen einer bestimmten Quantität ermöglicht. (Fig. 88.)

Niederschlag, s. Fällung.

Platinblech zum Veraschen geringer Substanzmengen. Erforderliche Größe ca. 9 cm^2. Für die meisten Versuche ist das kostbare Platinblech entbehrlich. Als Ersatz dient für geringe Mengen ein Glimmerblättchen, für größere ein Porzellantiegel. Schwefelhaltige Substanzen dürfen nicht auf dem Platinbleche erhitzt werden, wegen der sich bildenden Schwefelverbindungen. Die Reinigung des Bleches ist sofort mit verdünnter Salz- oder Salpetersäure vorzunehmen. Nützen diese Mittel nichts, so kann es mit angefeuchtetem feinsten Meeressande abgerieben werden.

Fig. 88.

Platindraht. Erforderlich zwei etwa 8 *cm* lange Drahtstücke, welche in einen ca. 12 *cm* langen Glasstab, der als Handgriff dient, einzuschmelzen sind. Zu diesem Zwecke erhitzt man ein Ende des Glasstabes in der Bunsenflamme, bis es zu schmelzen beginnt, und stößt in diesem Augenblick den mit einer Zange festgehaltenen Draht einige Millimeter tief in den Glasstab. Der eine Draht bleibt gerade und dient zum Impfen von Bakterienkulturen, der zweite wird am Ende zu einer kleinen kreisrunden Öse zusammengebogen und zur „Flammenprobe“ benützt.

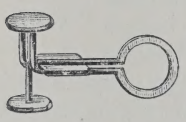


Fig. 89 *a*.

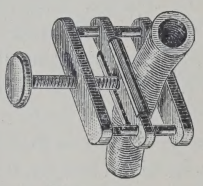


Fig. 89 *b*.

Pneumatische Wanne samt Brücke (Fig. 44) zum Auffangen von Gasen; auch als Glassturz zur Herstellung eines feuchten Raumes verwendbar.

Präparatenzylinder, Glaszylinder mit aufgeschliffener Glasplatte, die mit Vaselin oder Talg zu dichten ist, oder mit eingeschliffenem Glasstoppel. Namentlich als billiger Ersatz für Glocken, zur Herstellung eines feuchten Raumes etc. verwendbar. Verschiedene Größen erwünscht.

Proberöhrchen, s. Eprouvetten.

Quetschhahn, dient zum beliebigen Absperren und Öffnen eines Kautschukschlauches. Die einfachere Form (Fig. 89 *a*) wird durch einen Druck mit Daumen und Zeigefinger geöffnet. Der regulierbare Quetschhahn (Fig. 89 *b*) gestattet den Schlauchdurchmesser durch Drehen der Schraube beliebig zu verengern.

Reibschale, aus Porzellan oder Glas zum Pulverisieren von Chemikalien.

Reinigen von Glasgeräten, s. Glasgeräte.

Schmelztiegel (aus Porzellan) kann in Ermanglung eines Platinbleches zum Veraschen benützt werden. Man hängt ihn zu diesem Zwecke etwas geneigt in ein Dreieck aus Eisendraht, welches mit Tonröhrchen umhüllt ist; dieses liegt auf dem Ring unseres Stativs auf. Das Erhitzen und Erkalten des Tiegels muß allmählich erfolgen.

Spritzflasche (Fig. 90). Aus einem Kolben (250 bis 300 cm^3) und zwei entsprechend gebogenen Glasröhrchen leicht selbst herstellbar. Es empfiehlt sich, stets eine mit destilliertem Wasser gefüllte Spritzflasche zur Hand zu haben.

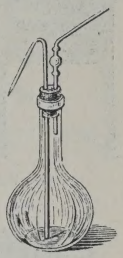


Fig. 90.

Stativ. Für unsere Zwecke ist mindestens ein eisernes Stativ von ca. $^1/_2$ *m* Höhe mit zwei Muffen (Fig. 91 *a*, unten) einem Ring und einer Klemme Fig. 91 *b* erforderlich.

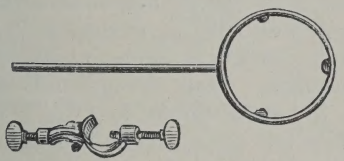


Fig. 91 *a*.

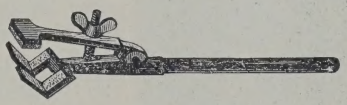


Fig. 91 *b*.

Empfehlenswert ist überdies ein hölzernes Filtriergestell sowie ein eiserner Dreifuß.

Thermometer. Erforderlich sind am besten zwei gleiche in Celsiusgrade geteilte (chemische) Thermometer ohne Fassung. Die Teilung soll mindestens bis $+100^0$ (für den Thermostaten 150^0) und -15^0 reichen.

Thermostat. Als einfachen, für unsere Zwecke völlig ausreichenden Thermostaten für Temperaturen unter 100^0 C benützen wir ein größeres Blechgefäß (Kochtopf), das wir in entsprechender Höhe über einem Nachtlämpchen aufstellen und mit einem durchbohrten Holzdeckel bedecken. Die Bohrung wird durch einen Kork verschlossen, der zur Aufnahme eines Thermometers bestimmt ist. Die Kugel des Thermometers darf nicht auf dem Boden des Gefäßes aufliegen. Soll eine Temperatur von 100^0 erreicht werden, so füllt man es einige *cm* hoch mit Wasser und erhitzt es mit einem Bunsen-

brenner bis zur Siedehitze. Natürlich muß zeitweise das Wasser nachgefüllt werden.

Dasselbe Gefäß kann zur Aufnahme einer Kältemischung dienen.

Trockenschrank (Fig. 92). Er ermöglicht die Regulierung und das konstante Erhalten der Temperatur auf gewünschter Höhe, namentlich wenn er mit einem Gasregulator verbunden ist. Er dient vorwiegend zum Trocknen, kann aber auch mit Vorteil zum Sterilisieren benützt werden. Für einige unserer Versuche ist er erwünscht, aber nicht unbedingt erforderlich.

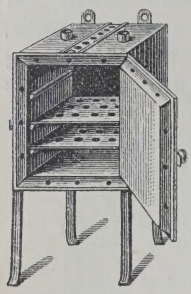


Fig. 92.

Uhrschalen mit einem Durchmesser von 5—7 *cm* sind für viele Versuche vorteilhaft. (Abwägen von Substanz, Abdampfen etc.) Zur Bestimmung der Trockensubstanz benützt man zwei gleichgroße, mit abgeschliffenen Rändern aufeinander passende Schalen, welche mit einer federnden Messingspange aneinander gepreßt werden (vgl. Vers. 4).

Wärmeschrank, s. Thermostat und Trockenschrank.

Wage. Für unsere Zwecke reicht eine gewöhnliche Balancewage (Krämerwage) am besten mit flachen Schalen aus. Sogenannte Uhr-(Feder)wagen sind nicht empfehlenswert. Vgl. hingegen Vers. 68, 5. Genauere Versuche machen natürlich eine chemische Wage erforderlich. Man bringe nie die zu wägende Substanz direkt auf die Wagschale, sondern auf eine vorher austarierte oder abgewogene Uhrschale. Das Abwägen von Flüssigkeiten geschieht natürlich in vorher gewogenen Fläschchen. Wasser wägen wir in der Regel nicht ab, unter der Annahme, daß 1 *g* Wasser annähernd 1 cm^3 entspricht.

Fig. 93.

Selbst mit minder guten Wagen können verhältnismäßig genaue Wägungen gemacht werden, wenn man nach folgender Methode (Methode der Substitution) vorgeht. Man lege die zu wägende Substanz etwa auf die linke Schale, während man rechts solange Tara (Erbsen, Schrot u. dgl.) auflegt, bis Gleichgewicht herrscht. Hierauf entfernt man die Substanz und ersetzt sie bis zum neuerlichen Einspielen der Zunge durch Gewichte. Diese entsprechen natürlich dem Gewichte der Substanz.

Waschflasche, zum Durchleiten von Gasen durch Flüssigkeiten. Die einfachste, leicht selbst herstellbare Form ist in Fig. 3

abgebildet. Eine besonders zweckmäßige Form ist nebenstehend abgebildet (Fig. 93); die Zuleitung erfolgt dabei rechts, die Ableitung links. Inhalt ca. 50 cm^3.

Wasserbad. Es wird stets dann in Anwendung gebracht, wenn die Erwärmung langsam vor sich gehen soll und 100° C nicht überschreiten darf (Abdampfen, Kochen von Alkohol, Äther etc.). Das Wasser des Bades darf nie vollkommen verdampfen. Zeitweiliges Nachfüllen von Wasser ist unerläßlich, da sonst die Temperatur zu hoch steigt und ein Springen der Gefäße, eine Entzündung des Alkohols etc. unvermeidlich ist. Ein Wasserbad läßt sich in einfacher Weise improvisieren. (Vgl. S. 95.)

Wasserstrahlpumpe. Dient zur Herstellung eines luftverdünnten Raumes oder zum Durchsaugen eines Gases durch eine Flüssigkeit. Sie bietet einen bequemen und vielseitig verwertbaren Ersatz eines Aspirators, ist aber an das Vorhandensein einer Wasserleitung gebunden und für unsere Zwecke nicht unbedingt nötig.

II. Verzeichnis unbedingt notwendiger Geräte.

(Die hier verzeichneten Geräte reichen zur Ausführung der überwiegenden Mehrzahl von Versuchen hin. Die Preise sind nur als beiläufige aufzufassen und beziehen sich stets auf die einfachste Ausführung.)

	K
Abdampfschalen aus Porzellan Durchm. 12 *cm*	0·72
Bechergläser Inhalt 75 cm^3	0·16
„ „ 200 cm^3	0·30
„ „ 500 cm^3	0·50
Bürste für Bechergläser	0·60
„ „ Eprouvetten	0·30
Bunsenbrenner	2·00
Drahtnetz mit Asbesteinlage Durchm. 15 *cm*	0·60
Einsiedegläser, div. Größen	
Eprouvetten 10 Stück	0·50
Exsikkator (Hand-)	2·60
Filterpapier 10 Bogen	0·40
Glasfeile, dreikantig	0·50
Glasröhren $^1/_2$ *kg*	1·00
Glocke, tubuliert, mit abgeschliffenem Rand u. Glasplatte	6·00
Hornlöffel	0·56
Kautschukschläuche pro *m* ca.	1·60
Kochkolben, Inhalt 100 cm^3	0·20
„ „ 250 cm^3	0·28
„ „ 300 cm^3	0·32
Korkbohrer 6 Stück	2·00
Korke, 50 Stück, versch. Größe	1·00
Kristallisierschale, Durchm. 15 *cm*	1·20
Medizinflaschen, div. Größen	
Meßzylinder, Inhalt 250 cm^3	3·00
Quetschhahn	0·60
Spritzflasche	1·20
Stativ mit Ring und Klemme 40 *cm* hoch	5·00
Thermometer (100° C)	3·60
Trichter, Durchm. 4 *cm*	0·24
„ „ 12 *cm*	0·56
Uhrschalen 2 Stück à 8 *cm* Durchm.	0·26
Mindesterfordernis ca.	K 38·—

III. Verzeichnis der angeführten Chemikalien.

Äther = Schwefeläther.
Ätzkali.
Alkohol.
Ammon, molybdänsaures.
— oxalsaures.
— phosphorsaures.
Ammon, schwefelsaures.
— weinsaures.
Ammoniak.
Ammoniumchlorid = Chlorammon.
Ammoniumnitrat.
Anilin, schwefelsaures.
Barythydrat.
Benzol.
Bleiperoxyd.
Chilisalpeter.
Chlorammon.
Chlorbaryum.
Chlorkali.

Chlorkalzium.
Chlornatrium.
Chlorzink.
Dinatriumphosphat.
Doppelsuperphosphat.
Eisenchlorid.
Eisenvitriol.
Eosin.
Essigsäure.
Fehlingsche Lösung.
Ferrophosphat.
Fibrin.
Guajakharz.
Indigokarmin.
Jod.
Jodkalium.
Kali, doppeltchromsaures.
— saures phosphorsaures.
— übermangansaures.
Kalilauge.
Kaliumnitrat.
Kalk, gebrannter.
— phosphorsaurer.
— salpetersaurer.
Kalk, saurer phosphorsaurer.
Kalkhydrat.
Kalkmilch.
Kalziumnitrat.
Kalziumphosphat, tertiäres.
Kalziumsulfat.
Kobaltchlorür.
Kochsalz.
Kupfersulfat.
Lackmuspapier.
Magnesia, kohlensaure.
— schwefelsaure.
Metaphenylendiamin.
Methylenblau.
Millons Reagens.
Monokaliumphosphat.
α-Naphtylamin.
Natriumbitartrat.
Natrium, phosphorsaures.
Natron, doppeltkohlensaures.
— saures schwefligsaures.
Natronkalk.
Neßlers Reagens.
Nilblausulfat.
Olivenöl.
Oxalsäure.
Pankreatin.
Phenylhydrazin, essigsaures.
Phloroglucin.
Pyrogallol.
Rhodankalium.
Salpetersäure.
Salzsäure.
Schwefeläther.
Schwefelsäure.
Silber, salpetersaures.
Soda.
Sulfanilsäure.
Traubenzucker.
Wasser, destilliertes.
Zink, gekörntes.
Zinkstaub.
Zitronensäure.
Zucker.
— Rohr-.

IV. Verzeichnis der im Texte gebrauchten lateinischen Pflanzennamen.

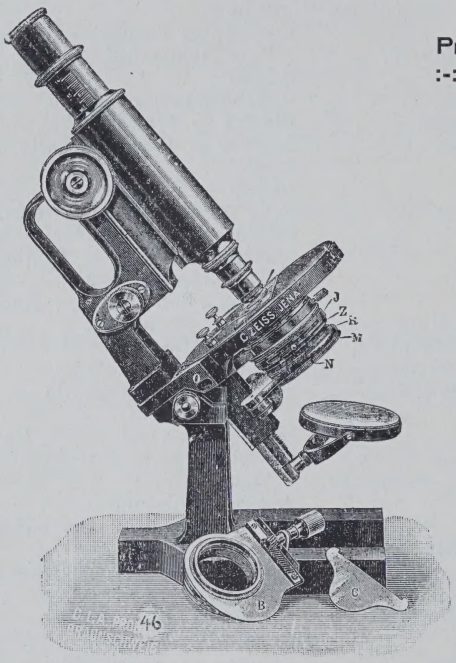
Deutsche Namen wurden nur dort beigefügt, wo eine gebräuchlichere deutsche Bezeichnung vorhanden ist.

Acacia Farnesiana — Zimmerakazie.
Acer Negundo — Eschenahorn.
— — foliis variegatis — buntblättriger E.
— platanoides — Spitzahorn.
Acorus Calamus — Kalmus.
Aesculus Hippocastanum — Roßkastanie.
Agapanthus.
Agave.
Ajuga reptans — Kriechender Günsel.
Alectorolophus — Klappertopf.
Allium Cepa — Küchenzwiebel.
Alnus — Erle.
Althaea rosea — Stockmalve.
Ampelopsis — Wilder Wein.
Amygdalus — Mandel.
Antirrhinum maius — Löwenmaul.
Aristolochia Sipho — Kletternder Pfeifenstrauch.
Arum maculatum — Gefleckter Aronstab.
Aspidistra elatior.
Aucuba japonica.
Begonia.
Berberis — Sauerdorn.
Bryonia — Zaunrübe.
Buxus — Buchs.
Caltha palustris — Sumpfdotterblume.
Campanula Medium — Gartenglockenblume.
— rotundifolia — Rundblättrige G.
Capsella bursa pastoris — Hirtentäschchen.
Carex — Riedgras.
Catalpa.
Centaurea jacea — Flockenblume.
— americana — Amerikanische F.
Ceratophyllum — Hornkraut.
Cheiranthus Cheiri — Goldlack.
Chlorophytum comosum — Hartwegie.
Chrysanthemum Leucanthemum — Orakelblume.
Clivia.
Cobaea scandens.
Coleus.
Convolvulus arvensis — Ackerwinde.
Cornus sanguinea — Roter Hartriegel.
Corylus — Haselnuß.
Crepis pulchra — Pippau.

Crocus — Safran.
Cuscuta — Teufelszwirn.
Cyclamen.
Cynodon — Hundszahngras.
Dahlia — Georgine.
Dentaria bulbifera — Knollentragende Zahnwurz.
Digitalis — Fingerhut.
Draba verna — Frühlingshungerblümchen.
Drosera — Sonnentau.
Echeveria.
Elaeagnus — Ölweide.
Elodea canadensis — Kanadische Wasserpest.
— densa — Dichtblättrige W.
Escholtzia californica.
Euphrasia — Augentrost.
Fagopyrum — Buchweizen.
Fagus silvatica — Buche.
Ficus.
Forsythia.
Fritillaria — Kaiserkrone.
Fuchsia.
Funkia.
Gladiolus — Schwertel.
Gramineen — Gräser.
Hartwegia s. Chlorophytum comosum.
Helianthus annuus — Sonnenrose.
Hoya carnosa — Wachsblume.
Hyacinthus — Garten-Hyazinthe.
— candicans. (Galtonia).
Hydrangea — Hortensie.
Hydrocharis — Froschbiß.
Hyoscyamus niger — Schwarzes Bilsenkraut.
Impatiens Balsamina — Balsamine.
— glandulifera — Drüsige B.
Iris — Schwertlilie.
Juglans — Walnuß.
Leguminosen — Hülsenfrüchtler.
Lemna — Wasserlinse.
Leontodon — Löwenzahn.
Lepidium sativum — Gartenkresse.
Lilium bulbiferum — Feuerlilie.
— candidum — Weiße L.
Lupinus albus — Lupine.
Mentha — Minze.
Mimosa pudica — Sinnpflanze.
— Spegazzini — Spegazzinis S.
Monotropa — Fichtenspargel.
Myriophyllum — Tausendblatt.
Neottia — Nestwurz.
Nicotiana — Tabak.
Orobanche speciosa — Sommerwurz
Oxalis — Sauerklee.
Panicum — Hirse.
Papaver — Mohn.
Passiflora — Passionsblume.
Pelargonium.
Phaseolus vulgaris — Gemeine Schminkbohne (Fisole).
— multiflorus — Feuerbohne.
Philadelphus coronarius — Pfeifenstrauch.
Plantago media — Mittlerer Wegerich.
Primula sinensis — Chinesische Primel.
Ranunculus Ficaria — Feigenwurzeliger Hahnenfuß.
Reseda.
Rhododendron ponticum.
Ricinus — Wunderbaum.
Robinia — Falsche Akazie.
Rosa.
Rumex — Sauerampfer.
Salix fragilis — Bruchweide.
Sambucus — Hollunder.
Sanicula europaea — Sanikel.
Sauromatum guttatum.
Saxifraga bulbifera — Knollentragender Steinbrech.
— sarmentosa.
Sedum — Mauerpfeffer.
Selaginella lepidophylla — Auferstehungspflanze.
Sempervivum tectorum — Hauswurz.
Senecio vulgaris — Gemeines Kreuzkraut.
Sicyos angulatum.
Silene nutans — Nickendes Leinkraut.
Sinapis alba — Weißer Senf.
— nigra — Schwarzer S.
Sphagnum — Torfmoos.
Syringa — Flieder.
Tamarix — Tamariske.
Taraxacum — Löwenzahn (Maiblume).
Taxus — Eibe.
Tilia — Linde.
Tradescantia.
Tropaeolum — Kapuzinerkresse.
Tulipa — Tulpe.
Vaucheria.
Vicia Faba — Saubohne.
Viscum album — Leimmistel.
Vitis — Weinrebe.
Zea — Mais.

ZEISS
MIKROSKOPE

Prospekte M 84
:-: kostenfrei :-:



Mikrophotographische Apparate für sichtbares und ultraviolettes Licht.
Einrichtungen für Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie.
Projektions-Apparate, Epidiaskope, Lupen.

Jena.
Berlin.
Frankfurt a. Main.
Hamburg.
Györ.

CARL ZEISS
WIEN

Paris.
London.
St. Petersburg.
Mailand.

Ferstelgasse 1
Ecke Maximilianplatz.

Inhaltsverzeichnis.

Aërobe Pflanzen 159
Ätherwirkung 152, 177, 192, 209
Akroleïn 15
Aleuronkörner 130
Alkoholnachweis 157
Amide 131, 133
Ammoniak als Stickstoffquelle 104, 105, 117—119
Anaërobe Pflanzen 159
Anisophyllie 180
Anlockungsmittel der Blüten 227
Anpassung 46, 160, 184, 203
Anthokyan 20, 90, 102
Arbeitsleistung 126, 169, 189
Arbeitsteilung 53
Aschenanalyse 4—6
Asparagin 131, 133
Assimilate, Ableitung 132
— Bildung 79—82, 133
— Verwendung 179
Assimilation des CO_2 69—103, 147, 148
Atmosphäre, Zusammensetzung 12
Atmung 139—160
— intramolekulare 152, 154
— Wärmeerzeugung 145
— Wesen und Bedeutung 154
Atmungsmaterial 149, 155
Autotrophe Gewächse 99, 119
Bakterien 93—101, 119—121, 156—159
— -Knöllchen 112, 113
Bastfasern 56
Baustoffe 125
Befruchtung 220
Benetzbarkeit 62, 63
Bestäubung 220—228
Betriebsstoffe 156
Bewegung der Blätter 88, 205—212
Bewegungsmechanik 193, 207
Bewegungsvermögen 151, 186—217, siehe auch Krümmung
Bildungsgewebe, siehe Meristem
Blatt, Bewegung 88, 205
— Funktion, siehe Transpiration und Assimilation
— Gestalt 180—181
— Wachstum 165, 179, 180
Blattbau 42, 43, 77
Blattgrün, siehe Chlorophyll
Blattnerven 56
Blattstellung 86, 210
Blütenbewegung 213, 226
Bluten 59
Boden, physikalische Eigenschaften 30, 69
Bodenanalyse 11
— -bakterien 96, 113, 117—121
C siehe auch K und Z
Chemotropismus 201
Chlorophyll 15, 16, 75—77, 81—84, 88, 89, 151
— -freie Pflanzen 77, 90, 97—99
— Körner 87
— Lageänderung 88
Dauerzellen 168
Denitrifikation 119, 156
Dextrin 128, 129, 192
Dextrose 129
Diastase 127—129
Diffusion 134
Düngung 107—109, 113
Eiweiß 16, 18
— -bildung 113—115, 133
— Wanderung 130, 131, 136
Energie 129—131, 154, 155, 156, 191
Enzym 157
Epinastie 198
Epiphyten 63
Erfrieren der Pflanzen 51
Ernährung, Kohlenstoff-, 67—103
— Mineralstoff-, 21—35, 61—63, 98
— Stickstoff-, 104—123
Etiolement 179
Etiolin 16
Ferment, siehe Enzym 157
Festigungseinrichtungen 29, 33, 34, 54—56, 167
Fette, siehe Öle
Feuchtigkeit, Einfluß auf Bewegung 200
— — auf Formbildung 183
Flechten 122
Folgemeristem 170
Formbildung, Einfluß der Ernährung 90—92
— — des Lichtes 179—182
— — der Luftfeuchtigkeit 183
Fortpflanzung 218—236
— geschlechtliche 220—230
— ungeschlechtliche 231—236
Funktionswechsel 172, 173
Gärung 97, 139, 156—159
Gaswechsel 69, 70, 77, 79, 139, 152
Gefäße 55, 56
Geotropismus 186—194
Gerbsäure 15
Gewebespannung 167
Glukose 14.
Guttation 60
Haptotropismus 204

Hefe 93, 97, 156—158
Heliotropismus 194—198
Heterotrophe Gewächse 99
Holzbau 54, 55
Holzstoff 16
Humus 12, 19, 67—69
Humus-Bewohner, siehe Saprophyten
Hydrotropismus 200
Hygrophyten 63
Imbibition 22
Impermeabilität 27
Impfen 99, 100
Induktion 192
Insektivoren 121, 131
Invertase 157
Isosmotische Lösungen 24
Kälte, siehe Temperatur
Kallus 136, 170
Kambium 169, 170
Kapillarität 60
Keimung 125, 126, 139, 140, 142 bis 145, 151
Keimverzug 126
Kernholz 54
Kleberkörner s. Aleuronkörner 130
Knospen 172—176
Kohlehydrate 14, 127
Kohlendioxyd, Assimilation 69
— Ausscheidung 140—142
Kohlenstoff-Ernährung 67—103
— -Gehalt 4
— -Kreislauf 156
— -Quelle 67, 98
Kolloïde 130
Kontaktreiz 205, 207
Korkhaut, siehe Periderm
Korrelation 174
Krümmung, chemotropische 201, 202
— Darwinsche 202
— epinastische 198
— geotropische 186—194
— heliotropische 194—198
— hydrotropische 200
— Ranken-, 203, 204
— Sachssche 200
Kutikula 46
Latentes Leben 125, 152, 219
Laubfall 61
Lebendgewicht 3
Lebensdauer 218
Leguminosen, Stickstoffernährung 109—113
Leitungsbahnen für Nährwasser 53—56
— für organische Stoffe 135, 136
Lentizellen 43, 44
Leuchtbakterien 120, 121
Licht, Einfluß auf Assimilation 75—81
— — auf Bewegung 87, 88, 194—198
Licht, Einfluß auf Blattstellung 86
— — auf Wachstum 179—182
— Formveränderung 179—182
— Schutzmittel 84—88
Lichtgenuß 182
Lichtstärke (Messung) 84, 182
Lipase 130
Luftanalyse 12
Lufttrockengewicht 3
Meristem 168, 170
Metabiose 122
Mineralstoffe 4—6, 10, 11, 19, 61—63, 98
Mykorrhiza 122
Nachwirkung 192
Nährstoffe, siehe Ernährung und Assimilation
Nährstofflösung 9, 11
Nahrungsaufnahme durch die Wurzeln 21—35
Nervatur 56
Nicken der Keimlinge 199
Nitrate 104—107, 114, 115
Nitrifikation 118
Nitrite 104, 106
Nitrobakterien 118, 156
Nutationen, spontane 199
Öle 15, 129, 130, 145
Organische Säuren 15
Okulieren 235
Organische Stoffe als Betriebsstoffe 155
Organische Stoffe als Nahrungsmittel 91, 92, 113
Organische Stoffe, Bildung 69, 70
— — Nachweis 12—19
— — Wanderung 124—138
— — Substanz 4
Osmose 22—30, 135, 137
Oxydase 154
Parasiten 91—93
Parthenogenese 231
Parthenokarpie 231
Pepsin 131
Periderm 43, 46, 170, 171
Periodizität der Bewegung 2.2
— der Entwicklung 175
Perzeption des Reizes 192
Plasmolyse 28
Pfropfen 233—235
Proteasen 131
Protëinstoffe 104, 130, 131
Protoplasma 21, 27, 104
— Strömung 134, 215
— Quellung 22, 126, 161
Ranken 203, 204
Regeneration 171
Reinkulturen 99—101
Reizbarkeit 186—217
Reizvorgang 190—192, 197, 198, 208, 216

Reservestoffe 124—126, 129, 179
Rinde 56, 136
Rindenporen 43
Ruheperiode 175—178
Saccharose, siehe Zucker
Saftsteigen 52—61
Saprophyten 92, 93, 99
Sauerstoff als Wachstumsbedingung 151—179
— -Aufnahme 142—145
— -Ausscheidung 70—77
— -Unentbehrlichkeit 149—151
Schimmelpilze 93—98
Schlafbewegung 86, 210
Schließzellen, siehe Spaltöffnung
Schmarotzerpflanzen, siehe Parasiten
Schwerkraft, siehe Geotropismus
Siebröhren 56, 136
Sinnesorgane 193
Spaltöffnungen 42—45, 47, 62, 81, 82
Splint 54
Stärkebildung 79—82
— -Nachweis 13, 80
— -Umwandlung 128
Stamm, Krümmungen 186—200
— Dickenwachstum 169
— Längenwachstum 164
Steckling 233
Sterilisieren 94—97, 99—101
Stickstoffernährung 104—123
Stickstoffernährung der Bakterien 119
— der Leguminosen 109—113
— der nicht grünen Pflanze 119—122
Stickstoffkreislauf 116—119, 122
Stoffwanderung 124—138
Stoßreizbarkeit 205—210
Sukkulente 47, 154
Symbiose 112, 121, 122
Tastsinn 207
Temperatur, siehe auch Wärme
— des Pflanzenkörpers 145—147
— Einfluß 74, 75, 126, 177, 178
— hohe 97
— Kardinalpunkte 74, 97, 178
— niedrige 51, 52, 177
Transpiration 36—64
— Bedeutung 61
— Förderungsmittel 62
— korrelative 64
— Messung 37—40
— Schutzmittel 45—48
— Zusammenhang mit anat. Bau 41—45
Transpirationsstrom 56—64
Treiben 124, 125, 172, 177, 178
Trockengewicht 3
Trockensubstanz 3, 69
Trypsin 131
Turgor 27—29, 60, 179, 208
Urzeugung 94
Variationsbewegung 209
Variieren 229
Vegetationspunkt 168
Veredeln 230, 234
Vergeilung, siehe Etiolement 179
Verholzung 16
Vermehrung, siehe Fortpflanzung
Verwachsung 234
Verwesungspflanzen, siehe Saprophyten
Verzweigung 182
Wachstum 161—180
— Bedingungen 151, 178, 179
— der Wurzel 166
— des Blattes 165, 180
— des Stammes 164, 169, 179, 180
— große Periode 163
— interkalares 165
— Messung 162, 163
Wärme, siehe auch Temperatur
— -Erzeugung 145, 146, 158
— -Starre 97
Wasser als Wachstumsbedingung 179
— Unentbehrlichkeit 2, 125
Wasseranalyse 8
— -aufnahme 2, 12, 48—52, 63
— -bewegung 56, 63, 64
— -gehalt 3
Wasserkultur 7
— -leitung 52—61
— -spalten 60
Welken 45, 48, 51, 82, 179
Wundheilung 137, 170—173
— -krümmung 202, 207
Wurzel, mechanische Leistung 33, 169
— Nahrungsaufnahme 2, 21—35
Wurzelausscheidungen 34
— -druck 58—60
— -haare 32
Wurzelknöllchen 112, 113
— -krümmungen 187—191, 193, 197, 200—202
Xerophyten 46, 63
Zelle 21, 26, 135, 168
Zellkern 21
Zellulose 14
Zucker 14, 59, 157, 158
Zuckerbildung 82, 128, 129, 222
Zugwurzel 34
Zymase 158

26 Medaillen. Gegründet 1861. 10 Ehrendiplome.

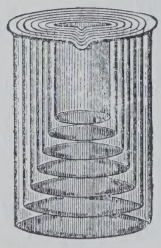
Heinrich Kappeller

WIEN V/1. Franzensgasse Nr. 13.

BUDAPEST VIII. József-körút Nr. 19.

Spezial-Fabrik

für Einrichtungen u. Ergänzungen von Laboratorien jeder Art.

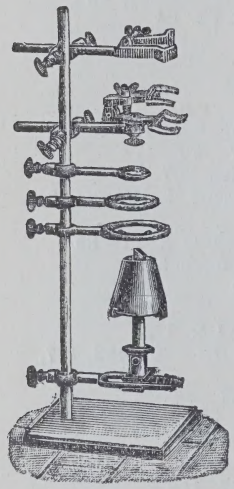


CHEMIE PHYSIK TECHNIK
MIKROSKOPIE BAKTERIOLOGIE

SÄMTLICHE APPARATE

zur

PFLANZENPHYSIOLOGIE.

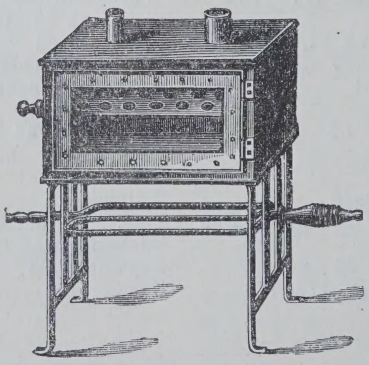


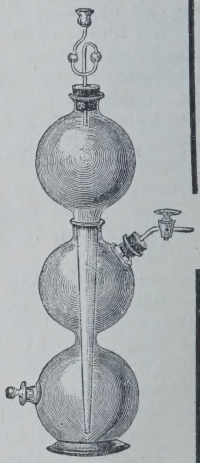
Reichhaltiges Lager v. Gummischläuchen etc.

Original-Reagentien

von

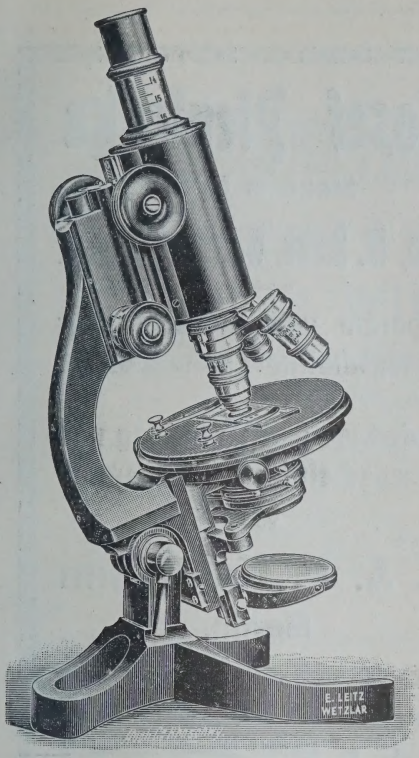
E. Merck, Darmstadt. Dr. Th. Schuchardt, Görlitz.
Dr. Grübler & Co., Leipzig.





Kataloge gratis und franko.

Kostenanschläge kostenlos.



Leitz-Mikroskope

über 140.000
im Gebrauch

sowie alle Nebenapparate.

Mikrotome.

Für Botaniker vorzüglich geeignete Handmikrotome.

KATALOGE GRATIS.

ERWIN KOSAK
Spezialinstitut für Mikroskopie und Optik
Wien IX/3. Universitätsstraße Nr. 12.
Telephon 18.124 und 22.144.

Gegründet 1853. **Höchste Auszeichnungen!**

Lenoir & Forster

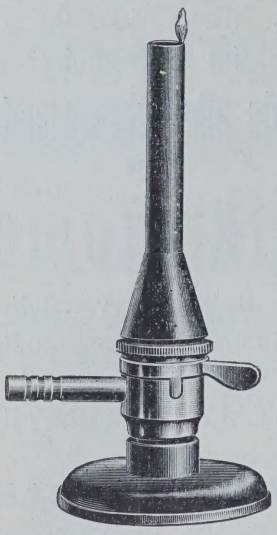
Chemisch-Physikalisch-Naturhistor. Institut — Mechan. Werkstätte

Wien IV. Waaggasse 5. Telephon 1519.

Naturgeschichtl. Lehrmittel, Pflanzenphysiologische und alle Apparate für die Samenkontrolle. — Komplette Einrichtung und Ergänzung chem. Laboratorien für Lehranstalten und alle Industriezweige.

Physikalische Apparate für Unterrichts- und industrielle Zwecke.

Fabriksniederlage chem. reiner Präparate und Reagentien.



Josef Pieniczka

Staub & John

Wien, IX. Bezirk, Währingerstraße 3.

Apparate und Utensilien für wissenschaftliche Laboratorien.

Niederlage und Vertretung von wissenschaftlichen Präparaten

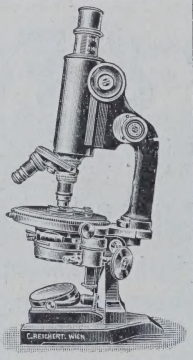
von

C. A. F. Kahlbaum

Berlin.

REICHERT

MIKROTOME,
ULTRA-
MIKROSKOPISCHE
EINRICHTUNGEN,
PROJEKTIONS-
= APPARATE =
ETC.



SONDERLISTEN
KOSTENFREI
VON
C. REICHERT
WIEN VIII/2.
BENNOGASSE 24/26.

MIKROSKOPE

Österreichische Lehrmittel-Anstalt

Dr. Raynoschek & Spadinger, G. m. b. H.

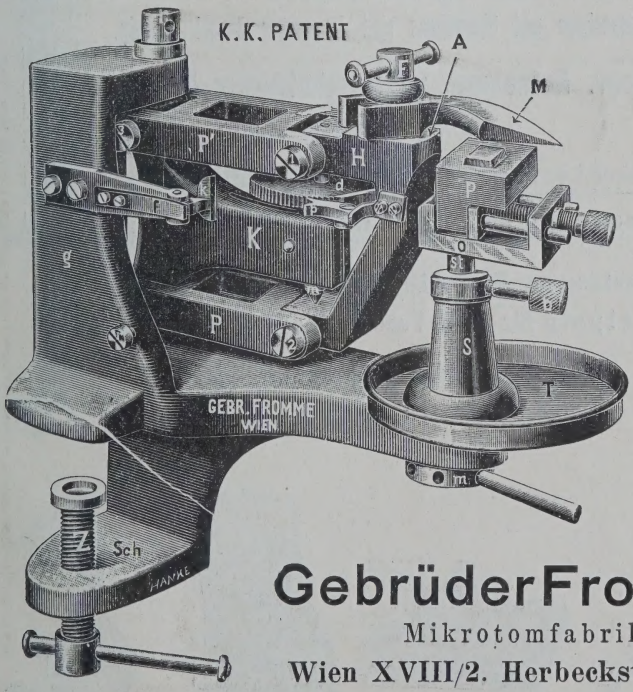
WIEN

IX/3. Universitätsstraße Nr. 8.

Wir versenden über Wunsch kostenlos und postfrei:

Hauptkatalog für **Botanik, Pflanzenphysiologie** (besonders Apparate der Wiener Schule) und **Samenkontrolle.**

(11 Bogen mit zahlreichen Illustrationen) Nr. 1, 1910
und **„Nachtrag zum Hauptkatalog"** Nr. 2, 1911
(6 Bogen mit zahlreichen Illustrationen).



A. Frommes

Patent-Universal-Mikrotom.

Preis 46 K.

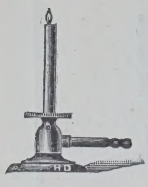
Speziell für botanische Zwecke und harte Präparate konstruiert.

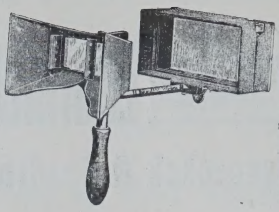
Prospekte gratis.

GebrüderFromme

Mikrotomfabrik

Wien XVIII/2. Herbeckstraße 27.





Gegründet 1891.

Mechaniker H. DÜMLER

Wien IX/3. Schwarzspanierstrasse 4 u. 6

empfiehlt seine Fabrik zur

Herstellung aller Apparate und Utensilien
für Mikroskopie, Bakteriologie, Photographie usw.

Diapositive

für Stereoskope und Skioptikons sind in großer Anzahl vorrätig.

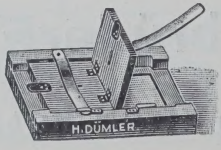
Photogr. Aufnahmen wissenschaftlicher Objekte

werden angefertigt.

Grosses Lager von Gläsern für Sammlungen u. Museen sowie allen Utensilien f. Laboratorien.

Vertretung der Firma Dr. G. Grübler & Comp. in Leipzig für deren Farbstoffe zur Mikroskopie.

Chemisch reine Reagentien von E. Merck in Darmstadt.



FRANZ GOLL · ICH GREIFE
KARL STREETER